Dan Ştefănescu



Clădiri civile

Editura Societăţii Academice „Matei - Teiu Botez”
Iaşi, 2007

Referenţi: **Prof. univ. dr. ing. Adrian Radu**
Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” Iaşi

Prof. univ. dr. ing. Alexandru Vereş
Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” Iaşi

Descrierea CIP a Bibliotecii Naţionale a României

ŞTEFĂNESCU, DAN

Clădiri civile / Dan Ştefănescu
Iaşi, Editura Societăţii Academice „Matei - Teiu Botez”, 2007

ISBN 978-973-8955-11-0

624

Editura Societăţii Academice „Matei - Teiu Botez”
B-dul Dumitru Mangeron nr. 43

Director: Prof. univ. dr. ing. Constantin Ionescu,
e-mail: cionescu@ce.tuiasi.ro

Editare computerizată: Dan Ştefănescu

Copertă: Dan Ştefănescu

Cuprins

Prefață

Prezenta lucrare constituie un curs universitar destinat în primul rând studenților secției de „Construcții civile”, dar şi cursanților din cadrul programelor de studii postuniversitare, inginerilor constructori proiectanți, arhitecților etc.

Ca structură, lucrarea se înscrie pe linia clasică a cursurilor de construcții civile predate de-a lungul anilor în cadrul Facultății de Construcții din Iaşi. S-a urmărit însă punerea la zi a subiectelor tratate, ținându-se cont de noile reglementări tehnice apărute în cursul ultimului deceniu, în contextul mai larg al alinierii la normativele europene (eurocoduri).

Capitolul 1 al cărții este o introducere succintă în teoria şi tehnica construcțiilor, cuprinzând clasificarea acestora, descrierea generală a elementele constitutive ale clădirilor, probleme legate de noțiunile de exigență şi performanță în domeniul construcțiilor, coordonarea dimensională şi toleranțe.

Capitolul 2 include unele elemente de siguranță a construcțiilor: definirea conceptului, metodele deterministe de calcul şi metoda semiprobabilistică a stărilor limită.

Capitolul 3, dedicat acțiunilor în construcții, cuprinde definirea şi clasificarea acțiunilor, precum şi modul de apreciere prin calcul a principalelor tipuri de acțiuni permanente, variabile şi accidentale (excepționale). Pentru calculul încărcărilor din vânt (Cod NP-082-04) şi din zăpadă (Cod CR 1-1-3–2005) au fost utilizate ultimele normative româneşti, elaborate în concordanță cu eurocodurile corespunzătoare. De asemeni, pentru încărcarea seismică s-a utilizat noul cod de proiectare antiseismică P100–1/2004, ce corespunde Eurocodului 8 (SR EN 1998–1/2004). În final, sunt prezentate noile reglementări introduse pentru gruparea efectelor acțiunilor, conform Codului CR 0–2005.

Capitolul 4 prezintă elementele de bază din domeniul mecanicii zidăriilor: clasificare, principii generale de alcătuire, proprietățile mecanice, deformațiile zidăriilor, calculul secțiunilor de zidărie simplă.

Capitolul 5, cel mai dezvoltat din cadrul lucrării, analizează problematica legată de procesele de transfer de căldură şi de masă prin elementele de construcții. Sunt descrise, într-o manieră intuitivă, mecanismul şi relațiile fundamentale de calcul ce stau la baza fiecărui mod de transfer termic. De asemeni, sunt prezentate principalele modalități de abordare a calculelor pe baza modelărilor numerice cu ajutorul programelor specializate.

Un subcapitol separat este destinat particularităților privind aprecierea caracteristicilor elementelor cu punți termice. Este definit şi explicat conceptul de „rezistență termică specifică corectată" şi este indicată modalitatea prin care se poate ajunge la relația de calcul a acestei mărimi. De asemeni, sunt introduse noțiunile de coeficient de transfer termic liniar şi punctual, sunt date definițiile şi interpretarea fizică a acestora (ce lipsesc din normativele româneşti actuale), şi este introdusă o modalitate alternativă originală de calcul.

Este prezentată pe larg noţiunea de „coeficient global de izolare termică" şi modul de calcul al acestuia, în cazul clădirilor de locuit.

Ultimul punct al capitolului se referă la transferul de masă în elementele de construcții: mecanismul fenomenului, ecuația diferențială a transferului de masă, verificarea riscului la condens pe suprafața interioară şi în interiorul elementelor.

Capitolul 6 tratează o serie de noțiuni specifice acusticii construcțiilor: sunetul ca fenomen fizic şi fiziologic, determinarea caracteristicilor de izolare acustică, măsuri de atenuare a zgomotelor, elemente de acustica sălilor.

La final, lucrarea mai cuprinde un minidicționar al principalilor termeni tehnici specifici ingineriei clădirilor civile, indexul termenilor de specialitate, indexul simbolurilor (notațiilor) folosite, precum şi o bibliografie selectivă.

În cadrul cărții s-a încercat îmbinarea rigorii ştiințifice cu o serie de comentarii şi observații intuitive, unele rezultate din numeroasele discuții avute cu D-nul profesor Adrian Radu, în urma cărora îmi dau întodeauna seama că mai am de învățat, altele preluate din interesanta carte a lui Mario Salvadori – „Mesajul structurilor". Prin numeroasele figuri, fotografii, grafice, tabele s-a urmărit uşurarea procesului de înțelegere a noțiunilor discutate şi realizarea unei prezentări cu un aspect atrăgător.

Autorul

Capitolul 1
Introducere în teoria şi tehnica construcţiilor

O parte însemnată a activităţii pe care o desfăşoară societatea, pentru transformarea naturii şi asigurarea condiţiilor de existenţă, are ca scop realizarea de construcţii. Din cele mai vechi timpuri oamenii au fost nevoiţi să execute adăposturi şi treptat numeroase alte tipuri de construcţii, din ce în ce mai complexe şi mai perfecţionate.

În ansamblu, producţia de construcţii cuprinde obiecte fixe pe teren, care se deosebesc astfel de celelalte produse realizate de societate. Orice obiect – un scaun, un aspirator, o maşină etc. – este produs într-o unitate specializată. Această fabrică este fixă, pe când produsul, care pleacă spre cumpărători, este mobil. În industria construcţiilor lucrurile se petrec invers: fabrica de case – şantierul – este mobil, în timp ce produsele realizate – construcţiile – rămân fixe.

1.1. Clasificarea construcţiilor

Cea mai generală clasificare împarte construcţiile în două mari categorii: clădiri şi lucrări inginereşti (Fig. 1.1).

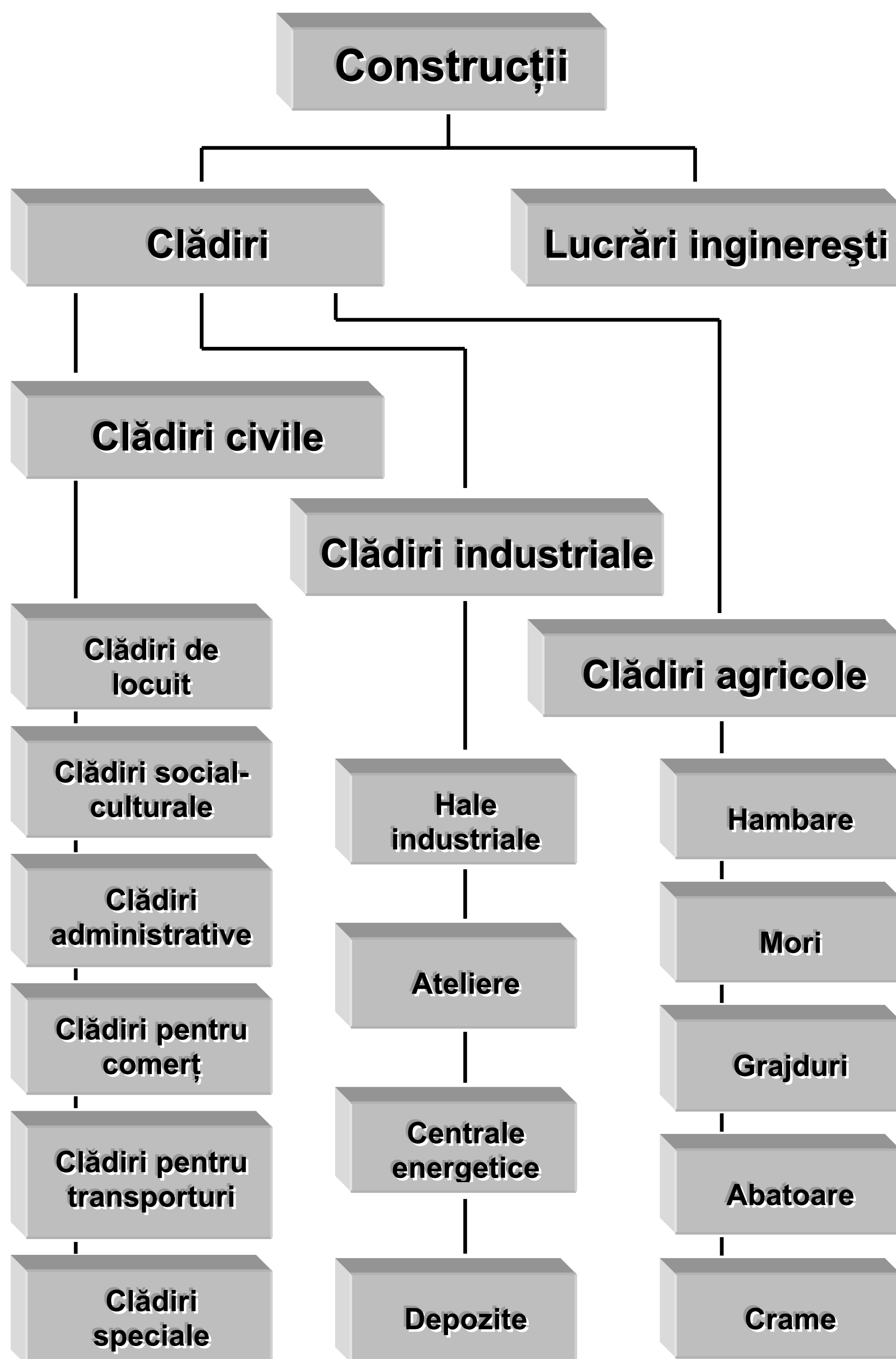


Fig. 1.1. Clasificarea construcţiilor

Clădirile au funcția principală de a servi ca adăpost pentru oameni în timpul perioadelor de muncă, destindere sau odihnă şi pentru bunurile acestora, precum şi pentru procesele tehnologice.

Lucrările inginereşti sunt toate celelalte construcții: drumuri, căi ferate, poduri, rezervoare, coşuri de fum, turnuri, canale etc.

La rândul lor clădirile, funcție de destinație, se împart după cum urmează (Fig. 1.1).

a. Clădiri civile – în această categorie intră acele clădiri ce nu servesc producției.

Există următoarele tipuri principale de clădiri civile:

- clădiri de locuit (individuale, blocuri de apartamente, cămine, hoteluri, case de odihnă etc.);
- clădiri social – culturale (sociale: spitale, case de cultură, săli de sport; culturale: teatre, muzee, biblioteci, cinematografe; de învățământ: universități, şcoli; religioase: catedrale, biserici, mănăstiri etc.);
- clădiri administrative (sediile instituțiilor, sediile companiilor, birourile, tribunalele etc.);
- clădiri pentru comerț (magazine, bănci etc.);
- clădiri pentru transporturi (gări, autogări, aerogări, depouri etc.);
- clădiri cu destinații speciale (militare, funerare etc.).

b. Clădiri industriale – se consideră cele destinate producției: hale industriale, ateliere, centrale energetice, depozite etc.

c. Clădiri agricole – sunt destinate producției agricole: hambare, mori, grajduri, abatoare, crame etc.

În raport cu deformabilitatea sub acțiunea sarcinilor exterioare există trei tipuri de clădiri.

a. Clădiri cu structură rigidă

Sunt clădirilor la care deplasările laterale (orizontale) sunt relativ mici, fiind produse în special de forțele tăietoare. Aceste construcții au perioadele proprii de vibrație mici ($T \leq 0,25...0,50$ s). În această categorie intră clădirile cu structura de rezistență alcătuită din pereți portanți din beton armat sau din zidărie de cărămidă.

b. Clădiri cu structură flexibilă

În acest caz deplasările laterale sunt mai mari, fiind rezultatul efectului dominant al momentelor încovoietoare. Perioadele proprii de vibrație sunt în general $T \geq 0.80...1,20$ s. Construcții cu structura formată din cadre de beton armat, de oțel sau de lemn se încadrează în categoria construcțiilor cu structură flexibilă.

c. Clădiri cu structură semiflexibilă

Deplasările laterale sunt rezultatul efectului combinat al forțelor tăietoare şi al momentelor încovoietoare. Perioadele proprii de vibrație se înscriu de regulă în intervalul $T = 0,25...1,20$ s. În această categorie intră clădirile alcătuite din cadre de beton armat rigidizate cu pereți de umplutură din zidărie masivă sau cu pereți din beton armat.

Funcție de importanță există trei tipuri de clădiri civile.

a. Clădiri civile de importanță deosebită:

- clădiri de primă necesitate cu rol de menținere a unor activități vitale, economice şi sociale (spitale mari, centrale de telecomunicații, gări, cazărmi de pompieri etc.);

- clădiri în care se află frecvent un număr mare de oameni (cinematografe, teatre, case de cultură), sau cu valoare mare (muzee, monumente etc.);

b. Clădiri civile de importanță medie – sunt constituite de imobilele curente: clădiri de locuit, social-culturale, administrative etc.;

c. Clădiri de importanță redusă (construcții provizorii).

Lucrările inginereşti sunt foarte diverse, cele mai importante fiind (Fig. 1.2):

a. construcții speciale industriale: rezervoare, castele de apă, silozuri etc.;

b. construcții speciale pentru transporturi: drumuri, căi ferate, tuneluri şi stații pentru metrouri, funiculare etc.;

c. construcții speciale pentru transporturi pe apă: canale navigabile, ecluze, porturi etc.;

d. construcții speciale pentru continuitatea transporturilor, numite şi lucrări de artă: poduri, tuneluri, viaducte, ziduri de sprijin etc.;

e. construcții hidrotehnice: baraje şi lucrări aferente acestora;

f. construcții pentru îmbunătățiri funciare şi regularizarea cursurilor de apă: irigații, desecări, taluzuri, protecția malurilor etc.

1.2. Elementele constitutive ale clădirilor

a. Structura de rezistență – este alcătuită din acele elemente de construcție care preiau încărcările mecanice, determinând capacitatea portantă a clădirii: pereți portanți, planşee, cadre, stâlpi, grinzi, fundații etc.

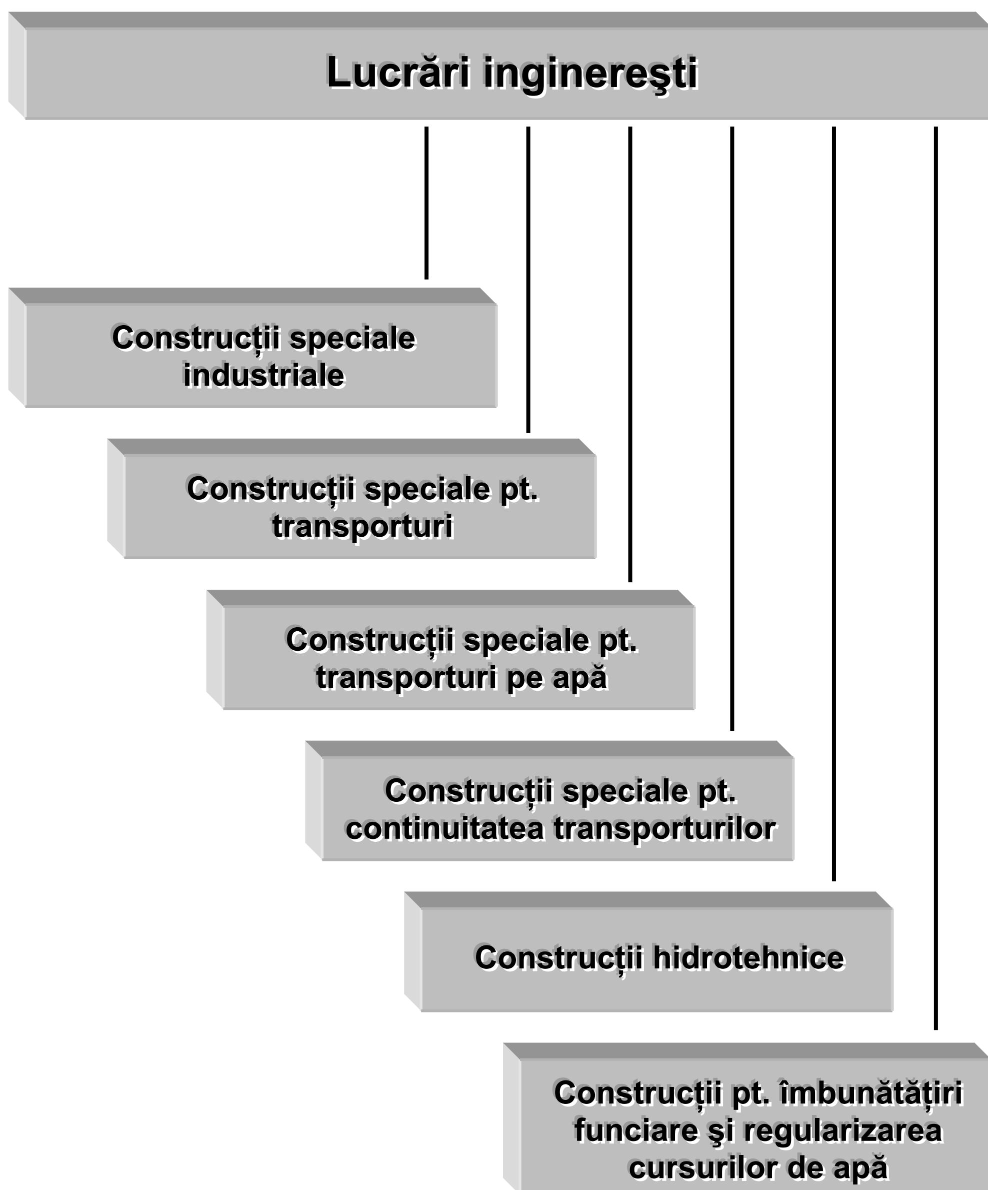


Fig. 1.2. Clasificarea lucrărilor inginereşti

b. Elemente de închidere – sunt elementele ce asigură izolarea termică, hidrofugă şi acustică a interiorului clădirii. Din această categorie fac parte: pereţii exteriori, ferestrele, uşile exterioare, învelitorile acoperişului etc.

c. Elemente de compartimentare – pereții interiori, elementele uşoare de compartimentare, uşile interioare etc.

d. Elemente de finisaj – tencuieli, pardoseli, placaje, vopsitorii, zugrăveli, etc.

Un element de construcție poate îndeplini simultan mai multe funcții. De exemplu, un perete exterior poate avea atât rol de element de rezistență, cât şi funcțiuni de izolare termică şi acustică.

O clădire se împarte geometric în niveluri (subsol, parter, etaje), iar pe verticală în tronsoane separate între ele prin elemente numite „rosturi" (întreruperi ale clădirii în plan vertical, pe toată înălțimea acesteia, inclusiv fundațiile) care permit deformarea independentă a tronsoanelor.

Fundațiile şi subsolul unei clădiri constituie aşa numita „infrastructură", iar parterul şi etajele „suprastructura". Altfel spus, elementele situate sub cota ±0.00 a clădirii (fundațiile, pereții de subsol, planşeul peste subsol) constituie infrastructura clădirii, iar restul elementelor, situate peste cota ±0.00, formează suprastructura acesteia. Cota ±0.00 a unei construcții este, prin convenție, cota pardoselii finite de la parter.

1.3. Exigențe şi performanțe în construcții

1.3.1. Noțiuni introductive

Construcțiile se numără printre cele mai importante produse realizate, deoarece asigură un cadru protejat pentru majoritatea activităților umane şi, dintre toate bunurile, au cea mai lungă perioadă de utilizare. Clădirile au atât o valoare utilitară, de ordin practic, dar şi o valoare artistică, arhitecturală.

În consecință, orice construcție trebuie să răspundă unui ansamblu bogat de cerințe (exigențe) determinate de necesitățile de utilizare şi de cele de ordin

estetic, iar calitatea mai bună sau mai puțin bună a unei clădiri se apreciază prin măsura în care aceasta răspunde exigențelor.

Prin exigențe în construcții se înțeleg condițiile care trebuiesc îndeplinite astfel încât clădirile să corespundă necesităților şi posibilităților utilizatorilor individuali şi societății în ansamblu.

În acest context definirea ştiințifică a exigențelor, care pot fi diferite de la o societate la alta sau de la o etapă la alta, reprezintă o necesitate de primă importanță în industria construcțiilor, întrucât nu se poate concepe, proiecta, executa sau optimiza un obiect fără a şti exact căror cerințe trebuie să răspundă.

Un sistem de exigențe devine util când poate conduce la soluționarea următoarelor probleme:

a. determinarea condițiilor pe care trebuie să le îndeplinească construcțiile, în ansamblu şi pe părți componente, ținând seama de funcțiile ce decurg din destinația clădirii şi de interesele colectivității care o utilizează;

b. stabilirea soluțiilor constructive care să satisfacă aceste condiții, a modalităților de verificare, a materialelor utilizate şi a tehnologiilor prin care se poate ajunge cel mai avantajos la rezultatul dorit.

Conceptul de „performanță în construcții" are un înțeles diferit de sensul comun al noțiunii de „performanță". Construcțiile nu sunt performante în sensul în care, de exemplu, sportivii sunt performanți atunci când doboară un record sau câştigă o medalie. O clădire nu trebuie să fie cea mai înaltă, cea mai frumoasă sau cea mai scumpă pentru a fi performantă, dar trebuie să răspundă unui set rațional, precis şi coerent de exigențe.

În domeniul construcțiilor, noțiunile de bază ce conduc la definirea conceptului de performanță sunt cele enumerate în continuare.

a. Exigențele utilizatorilor clădirilor – se referă la condițiile pe care aceştia le doresc îndeplinite în imobilele pe care le vor folosi.

Aceste condiții sunt determinate de următoarele categorii de cerințe:

- fiziologice – naturale (condiții de igienă, confort şi protecție față de factorii nocivi);
- psiho-sociale (referitoare la senzația de contact cu microclimatul clădirii, posibilitatea de a comunica sau de a se separa, satisfacție estetică etc.);
- de eficiență (privind cheltuieli şi consumuri minime de achiziție şi exploatare a clădirii).

Exigențele utilizatorilor sunt formulate la modul general, lipsite de expresie cantitativă (numerică), fără a ține seama de materialele sau procesele tehnologice prin care sunt realizate clădirile. Astfel, o exigență a utilizatorilor este cerința de linişte pentru a lucra sau pentru a se odihni.

b. Exigențele de performanță – sunt formulate de specialişti pentru a satisface exigențele utilizatorilor, luând în considerare factorii care acționează asupra imobilului. Ca şi exigențele utilizatorilor, exigențele de performanță sunt exprimate tot calitativ (fără formulare cantitativă) şi nu țin seama de materialele din care sunt realizate clădirile. Astfel, o exigență de performanță este izolarea acustică față de zgomotele provenite din afara unei clădiri.

c. Criteriile de performanță – constituie traducerea exigențelor de performanță în calități pe care trebuie să le îndeplinească diferențiat părțile componente ale clădirii pentru ca exigențele de performanță să fie satisfăcute. Unei singure exigențe de performanță generală, cum ar fi izolarea acustică față de zgomotele exterioare, îi corespund pentru pereți capacitatea de izolare la transmisia zgomotelor aeriene, iar pentru planşee capacitatea de izolare la transmisia zgomotelor aeriene şi de impact.

d. Nivelurile de performanță – reprezintă concretizarea cantitativă, numerică, a criteriilor de performanță, astfel încât acestea să poată fi

utilizate în proiectare, cu ajutorul diferitelor relații fizico–matematice de dimensionare. Valorile minime, maxime sau optime ale nivelurilor de performanță sunt stabilite prin prescripții tehnice (standarde, normative). De exemplu, nivelul zgomotelor exterioare percepute în încăperi trebuie să fie de maxim 35 dB.

Stabilirea nivelului de performanță este o operație complexă, ținând cont că majorarea cantitativă a unui nivel, în afară de faptul că poate fi nerentabilă, nu duce în mod obligatoriu la performanțe reale. De exemplu nu este recomandabilă creşterea necontrolată a capacității de izolare acustică a unui element de închidere, deoarece o stare prelungită de linişte profundă, fără fondul sonor minim cu care organismul este obişnuit, poate conduce la o stare de nelinişte greu de suportat.

1.3.2. Exigențe de performanță pentru clădiri civile

La nivelul Organizației internaționale pentru standardizare (ISO) s-a întocmit o listă ce cuprinde 14 exigențe de performanță pentru clădiri civile, enumerate şi descrise succint în cele ce urmează.

Stabilitate şi rezistență – intensitatea maximă a acțiunilor mecanice, în gruparea de încărcări cea mai defavorabilă, nu trebuie să depăşească capacitatea portantă a clădirii, respectiv a elementelor structurale ale acesteia.

Siguranța la foc – se referă la aprecierea gradului de risc la izbucnirea incendiilor şi la siguranța ocupanților şi a clădirii în caz de incendiu.

Siguranța utilizării – are în vedere cerințe referitoare la:

- securitatea muncii pentru lucrări de întreținere, modernizare, reparații etc.;

- securitatea de contact, ce reprezintă protecția utilizatorilor la posibilitatea producerii de leziuni prin contact cu suprafețele elementelor de construcție;
- securitatea la circulație prin reducerea riscului de accidentare prin alunecare, cădere, blocare etc., în timpul circulației în interiorul clădirii;
- securitatea la intruziuni prin protejarea clădirii, în special a elementelor sale exterioare, împotriva pătrunderii nedorite a oamenilor, animalelor, insectelor etc.

Etanşeitatea – se referă la calitatea elementelor de construcție de a fi etanşe la apa din diverse surse (meteorica, subterană etc.), la aer, gaze, zăpadă, praf sau nisip antrenate de aer etc.

Confort higrotermic – pentru asigurarea în interiorul clădirii a nivelurilor optime de temperatură şi de umiditate, în sezonul rece şi în cel cald.

Ambianță atmosferică – prin asigurarea microclimatului încăperilor cu aer proaspăt, cu ajutorul ventilării naturale şi/sau artificiale.

Confort acustic – ce se referă la protecția fonică împotriva zgomotelor exterioare, zgomotelor din încăperile învecinate şi zgomotelor datorate funcționării instalațiilor.

Confort tactil – are în vedere cerințele de protecție la contactul cu diverse suprafețe ale clădirii, protecție ce se poate referi la izolare termică, la izolare electrică, sau la măsuri împotriva contactului mecanic cu diverse elemente.

Confort antropodinamic – cu următoarele componente:

- confortul împotriva vibrațiilor sau mişcărilor induse ocupanților de către clădire;
- confortul în cazul deplasărilor în clădire;

- uşurința în manevrarea uşilor, ferestrelor sau altor elemente mobile ale clădirii;

Igienă – vizează măsurile împotriva poluării microclimatului clădirii (emanații de gaze, fum etc., degajate de materialele din elementele de construcție) şi asigurarea condițiilor de igienă cu ajutorul instalațiilor (distribuția apei potabile, evacuarea apei menajere şi a gunoaielor).

Utilizarea spațiilor – are în vedere funcționalitatea spațiilor interioare (caracteristici geometrice, relațiile dintre încăperi etc.) şi adaptarea la utilizarea suprafețelor finisate ale clădirii (rezistența acestor suprafețe la acțiuni mecanice, termice, chimice, atmosferice etc.).

Durabilitate – privitor la durata de viață a elementelor de construcție şi a clădirii în ansamblu şi la rezistența împotriva factorilor ce afectează performanțele (agenți climatici, chimici etc.).

Confort vizual – se referă la iluminatul natural şi cel artificial, aspectul suprafețelor vizibile şi vederea din clădire spre exterior.

Economicitate – se iau în considerarea următoarele aspecte:

- indicatori dimensionali: suprafețe ale clădirii (aria desfăşurată, aria construită, aria utilă etc.) şi volume (volum total, volum pe niveluri etc.);
- indicatori derivați: gradul de ocupare a terenului, indicele suprafețelor de circulație, indicele volumului total etc.;
- costuri: inițiale (de investiție), de exploatare, de întreținere (remedieri, reparații) etc.;
- gradul de industrializare: ponderea elementelor de construcție realizate industrial.

1.3.3. Aprecierea calității clădirilor

Calitatea unei construcții poate fi apreciată în mod obiectiv folosind conceptul de performanță, prin utilizarea următoarelor metodologii:

a. Gradul de satisfacere a exigențelor de performanță

Prin acest procedeu se determină în ce măsură este satisfăcută fiecare exigență de performanță „i”, prin definirea unui raport, conform relației:

$$p_i = \frac{\text{nivel de performanță realizat (cf. proiect)}}{\text{nivel de performanță impus (normat)}} \qquad (1.1)$$

Dacă valoarea raportului $p_i = 1$ atunci exigența „i” este respectată. În cazul când $p_i < 1$ exigența de performanță nu este asigurată, iar dacă $p_i > 1$ exigența este depășită în sens favorabil.

Nu întodeauna calitatea variază proporțional cu raportul p_i, în sensul că o creștere exagerată a acestui raport peste valoarea unitară nu conduce în mod obligatoriu la o creștere a performanțelor. De exemplu:

- creșterea capacității portante a unui planșeu din beton (prin mărirea grosimii sau folosirea unui beton cu calități superioare), peste capacitatea portantă minimă necesară nu este rațională, întrucât este puțin probabil ca sarcinile gravitaționale să crească peste valorile de calcul prevăzute de normative și, pe de altă parte, cheltuielile de execuție ar crește nejustificat de mult;
- sporirea rezistenței termice a unui element de închidere conduce la un spor de confort și la o economie de energie pentru încălzire, dar peste anumite valori ale gradului de izolare aceste avantaje cresc extrem de lent, ponderea pierderilor de căldură transferându-se spre alte zone ale clădirii.

b. Ponderea exigențelor de performanță

Pentru exprimarea ponderii fiecărei exigențe de performanță „i” se stabilesc în mod convențional o serie de coeficienți α_i care reflectă faptul că unele performanțe sunt mai importante decât altele. Coeficienții α_i sunt subunitari şi au valori mai mari sau mai mici după cum decidem că o exigență de performanță este mai importantă sau mai puțin importantă. În consecință, coeficienții α_i au un caracter oarecum arbitrar, dar în final trebuie respectă relația: $\Sigma \alpha_i = 1$.

După definirea coeficienților α_i, aprecierea performanțelor unei construcții se poate efectua pe baza unei note (calificativ) N obținut cu relația:

$$N = \sum \alpha_i . p_i \qquad (1.2)$$

Relația precedentă poate fi utilizată şi în cazul când există mai multe variante pentru o clădire şi dorim să alegem soluția cu performanțe optime.

1.4. Coordonare dimensională şi toleranțe în construcții

1.4.1. Scurt istoric

Atunci când se pune problema realizării unei construcții, unul din primele lucruri la care ne gândim este cât de extinsă va fi această construcție, cu alte cuvinte ce dimensiuni va trebui să aibă pentru a răspunde unui anumit scop. Această întrebare şi-au pus-o probabil primii „constructori”, atunci când au început să creeze adăposturi artificiale în corturi din piei de animale, în urmă cu peste 10.000 de ani, şi-o pun şi constructorii de azi când se pregătesc să ridice un nou zgârie – nori.

Dimensiunile unei construcții, atât cele principale cât şi cele de detaliu, au fost dintotdeauna importante. Pentru stabilirea acestora s-au folosit la început, din rațiuni practice, dimensiunile diferitelor părți ale corpului uman (picior, cot, cap), deoarece dimensiunile unui obiect se stabilesc şi se percep mai uşor prin comparație cu cele ale omului.

Nu numai dimensiunile privite separat, dar şi anumite rapoarte între acestea sunt importante. Vechii egiptenii ştiau acest lucru atunci când au construit piramidele, respectând un anumit raport între latura bazei şi înălțime, astfel încât cele patru fețe au o înclinare constantă de 52° la toate piramidele (cu o singură excepție). Grecii şi romanii respectau un anumit raport între dimensiunile principale ale clădirilor (lungimea şi lățimea), numit raportul de aur, ce conduce la un dreptunghi ce nu este nici prea apropiat de un pătrat, dar nici exagerat de alungit. Proporțiile celor mai multe dintre monumentele antice se încadrează în regula secțiunii de aur, după cum şi dimensiunile unei fotografii obişnuite, ale unei pagini de carte sau a feței unei cutii de chibrituri respectă, într-o măsură mai mare sau mai mică, acelaşi raport: $\frac{A}{A+a}=\frac{a}{A}$, „A" şi „a" fiind latura mare şi respectiv latura mică a dreptunghiului.

Dorința de a obține anumite proporții a condus la ideea că se poate adopta o anumită dimensiune fixă, numită „modul", toate dimensiunile unei construcții fiind stabilite apoi prin multiplicarea sau divizarea acestui modul. La grecii antici era ales drept modul diametrul de la baza coloanelor. Înălțimea acestora era determinată prin multiplicarea diametrului cu un coeficient ales astfel încât coloanele să nu rezulte prea subțiri, lucru ce ar fi creat probleme de rezistență, dar nici prea groase, întrucât ar fi fost inestetice.

În afara faptului că alegerea judicioasă a dimensiunilor şi a raporturilor dintre acestea este o condiție obligatorie pentru obținerea anumitor efecte

arhitecturale, în secolul trecut s-a dezvoltat o tendință nouă în construcții, aceea de industrializare a acestora. În esență, ideea este ca o parte dintre elementele componente ale unei clădiri să fie produse în condiții industriale, în cadrul unor întreprinderi specializate, urmând ca apoi să fie transportate şi montate la locul de punere în operă. Astfel se pot confecționa stâlpi, grinzi, pereți, planşee etc., care ulterior se îmbină pentru a forma structura unei clădiri. Evident, dimensiunile acestor elemente (care pot fi executate de mai mulți producători, în locații diferite) şi poziția lor în cadrul clădirii trebuie astfel corelate încât procesul de montaj să se poată desfăşura în condiții normale.

Prin coordonare dimensională a elementelor de construcție se înțelege convenția de a utiliza, în cadrul activităților de proiectare, de producere şi de punere în operă, numai acele dimensiuni care respectă anumite reguli stabilite anterior. Altfel spus, coordonarea dimensională reprezintă operația prin care se stabilesc dimensiunile unor elemente sau ansambluri, precum şi dimensiunile ce definesc poziția lor reciprocă.

Coordonarea dimensională este o operație obligatorie şi se realizează prin două metode: coordonare modulară şi tipizare.

1.4.2. Coordonarea modulară

1.4.2.1. Definiții

Coordonarea modulară constă în aceea că dimensiunile elementelor de construcție pot lua numai acele valori care corespund unei lungimi alese arbitrar, numită modul de bază şi notată cu „M”, sau unor moduli derivați din modulul de bază.

În sistemul metric valoarea internațională standardizată a modulului de bază este M = 100 mm = 10 cm, adoptată în majoritatea țărilor.

Deoarece este a zecea parte dintr-un metru, această valoare se încadrează în sistemul modular decimetric. În unele ţări se utilizează modulul de bază egal cu 12,5 cm, ce face parte din sistemul modular octometric şi este întâlnit şi la noi în cazul elementelor de construcţii din cărămidă normală.

În afară de modulul de bază se utilizează o serie de moduli derivaţi din acesta, determinaţi cu o relaţie de forma: $M_d = n.M$. Astfel se obţin:

- moduli derivaţi măriţi (n > 1): n = 2, 3, 6, 12, 15, 30, 60;
- moduli derivaţi fracţionaţi (n < 1): n = 1/2, 1/5, 1/10, 1/20, 1/50, 1/100.

În funcţie de mărimea dimensiunilor ce urmează a fi modulate, modulii derivaţi măriţi se folosesc la deschideri, travei, lungimi de grinzi, înălţimi de niveluri etc.

Modulii fracţionaţi se utilizează la dimensiuni mici, cum ar fi detaliile de construcţii, unele materiale de construcţii etc. Cu alte cuvinte, fiecărui modul derivat îi corespunde un anumit domeniu de aplicare, funcţie de dimensiunile curente ale elementelor de construcţii corespunzătoare.

În consecinţă, utilizând modulii derivaţi se pot obţine dimensiuni modulate, care se împart astfel:

a. grupa I – dimensiuni mari (deschideri, travei, dimensiunile încăperilor etc.);

b. grupa II – dimensiuni mijlocii (înălţimi etaje, goluri de uşi şi ferestre etc.);

c. grupa III – dimensiuni mici (secţiunile elementelor);

d. grupa IV – dimensiuni foarte mici (grosimi materiale, detalii de construcţii etc.).

1.4.2.2. Sistemul de referință modular

Sistemul de referință modular este compus dintr-o rețea de plane perpendiculare, pe trei direcții, care împart volumul clădirii în paralelipipede rectangulare (volume de forma unei cărămizi, delimitate de şase fețe plane), cu lungimea laturilor egală cu modulul de bază sau cu multiplii ai acestuia (Fig. 1.3).

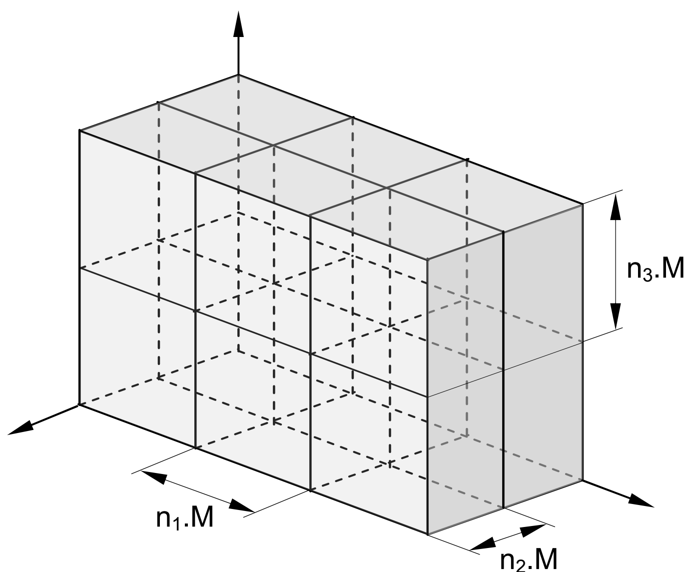


Fig. 1.3. Sistem de referință modular

Planele sistemului de referință poartă numele de plane modulare de referință. Distanțele dintre aceste plane se numesc trame şi pot fi de mai multe tipuri: principale (deschideri, travei, înălțimi de etaje etc.), secundare (lățimea fâşiilor planşeelor, dimensiunile golurilor de uşi sau ferestre etc.) şi de detaliu (dimensiunile îmbinărilor, dimensiunile secțiunilor elementelor) – Fig. 1.4.

Intersecțiile planelor modulare se numesc linii de referință. Ansamblul liniilor de referință formează rețeaua modulară, iar volumul delimitat de

planele modulare formează volumul modular. Reţeaua modulară serveşte pentru coordonarea dimensiunilor în plan şi spaţiu cu dimensiunile sistemului constructiv al clădirii.

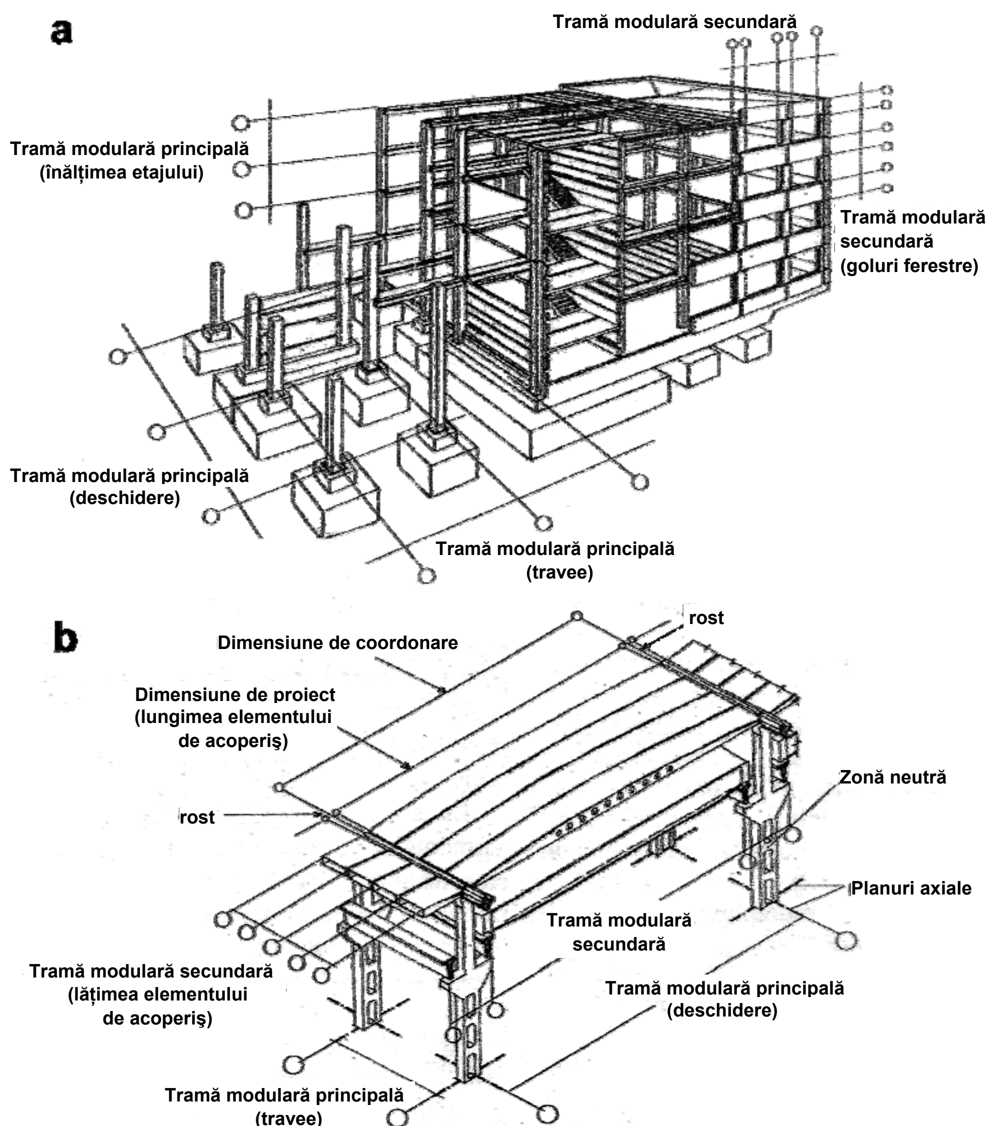


Fig. 1.4. Trame modulare principale şi secundare
a. clădiri civile; **b.** clădiri industriale

Dimensiunea modulară a unui element de construcţie se defineşte ca fiind un multiplu întreg al unui modul.

Dimensiunea modulată reprezintă dimensiunea unui element de construcţie care se asamblează cu altele, astfel încât prin alăturarea acestora, ţinând seama şi de rosturi, să rezulte o dimensiune modulară (Fig. 1.5).

Dimensiunea nominală este o dimensiune modulară ce caracterizează un element prin dimensiunea sa principală, permiţând identificarea lui dintr-o serie de elemente asemănătoare. În cazul elementelor din beton prefabricate, dimensiunea nominală cuprinde dimensiunea de proiect a elementului la care se adaugă mărimea rostului de monolitizare. De exemplu, dimensiunile nominale ale fâşiilor prefabricate de planşeu, reprezentând lungimea acestora, sunt: 2,00; 2,40; 3,00; 3,60; 4,00; 4,40; 5,00; 5,60 m, în timp ce dimensiunea lor efectivă, de execuţie, este cu 8 cm mai mică. Dimensiunile nominale (grosimile) pereţilor de cărămidă normală sunt: 7,5; 12,5; 25,0; 37,5 cm, funcţie de modul de dispunere a cărămizilor.

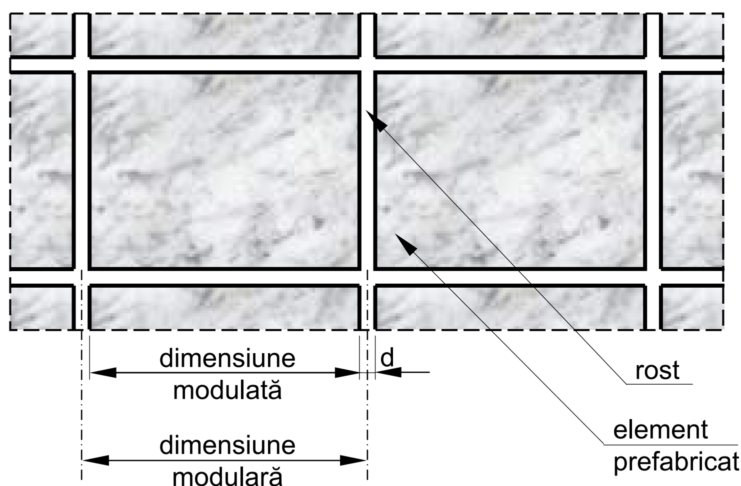


Fig. 1.5. Tipuri de dimensiuni

Axele tramei modulare, numite şi axe de trasare, se poziționează în funcție de structura de rezistență a clădirii astfel:

- structuri cu pereți portanți: la pereții exteriori axa este dispusă la o distanță de suprafața interioară a peretelui egală cu jumătatea grosimii peretelui interior portant; la pereții interiori portanți axa modulară coincide cu axa geometrică a acestora, fiind poziționată la jumătatea grosimii peretelui;
- clădiri cu pereți exteriori autoportanți sau tip cortină: axa modulară se suprapune peste fața interioară a acestora;
- structuri pe cadre cu stâlpi cu secțiune constantă pe înălțime: axele modulare pe cele două direcții principale coincid cu axele geometrice ale secțiunii stâlpilor;
- structuri pe cadre cu stâlpi cu secțiune variabilă pe înălțime: axele modulare pe cele două direcții principale coincid cu axele geometrice ale secțiunii stâlpilor la cota ±0,00;
- structuri pe cadre, cu pod rulant (specifice halelor industriale): axele modulare longitudinale ale stâlpilor marginali coincid cu axele geometrice ale secțiunii acestora la cota şinei grinzii de rulare, iar axele longitudinale ale stâlpilor centrali coincid cu axa lor geometrică (mijlocul secțiunii); axele modulare transversale coincid cu axa geometrică a secțiunii stâlpilor;
- la stâlpii dublii de la rosturile clădirii se adoptă fie două axe modulare, nefiind obligatoriu ca distanța dintre acestea să fie modulată, fie o singură axă ce coincide cu axa geometrică a rostului.

Pe verticală axele modulare se poziționează respectând următoarele reguli:

- la clădiri civile înălțimea etajului curent este egală cu distanța dintre suprafețele pardoselilor finite a două niveluri succesive;
- la clădiri industriale (hale) înălțimea modulată este situată între cota ±0,00 şi cota inferioară a grinzilor transversale.

1.4.3. Tipizarea elementelor de construcții

Reprezintă o treaptă mai avansată a coordonării dimensionale şi constă în proiectarea şi confecționarea unor elemente de dimensiuni corespunzătoare unei serii modulare cu număr redus de termeni şi unor condiții de exploatare tip, care se repetă cu o mare frecvență.

La proiectarea construcțiilor se iau în considerare aceste elemente tipizate, cu caracteristicile lor, astfel încât atât forma cât şi dimensiunile obiectelor se adaptează la dimensiunile şi caracteristicile elementelor de construcție.

Exemple de dimensiuni tipizate:

- dimensiunile tipizate, denumite uneori şi dimensiuni preferențiale, pentru deschideri şi travei sunt: 3,0 m; 6,0 m; 9,0 m; 12,0 m; 15,0 m; 18,0 m; 21,0 m; 24,0 m;
- dimensiunea principală (lungimea) căzilor de baie obişnuite (dreptunghiulare) fabricate în țara noastră sunt: 1,20 m; 1,50 m; 1,80 m.

1.4.4. Toleranțe şi abateri în construcții

Preocupări privind precizia dimensională a construcțiilor au existat din cele mai vechi timpuri. Cele patru laturi ce delimitează baza marii piramide din Egipt (piramida lui Cheops) au lungimea de 230 m şi diferă între ele cu

maxim 20 cm (eroare de 1 la 1150). Unghiurile drepte ale bazei au devieri maxime de trei minute şi jumătate (eroare de cca. 1 la 1500). Orientarea piramidei în raport cu punctele cardinale are o abatere maximă de cinci minute şi jumătate (eroare de cca. 1 la 4000).

Cu toate acestea, construcțiile curente din vechime nu impuneau condiții severe de precizie. În afara faptului că nu existau proiecte, în sensul în care înțelegem astăzi această noțiune, masivitatea elementelor utilizate şi faptul că eventualele erori se puteau corecta „din mers”, făcea acceptabil un grad relativ redus de precizie.

Acest mod de a privi lucrurile a trebuit abandonat odată cu apariția şi dezvoltarea procesului de industrializare a lucrărilor de construcții, cu toate implicațiile sale. Elementele prefabricate de rezistență, majoritatea din beton sau metal, pot avea dimensiuni mari şi rezemări reduse. Din acest motiv este important ca precizia de execuție să fie suficient de bună, deoarece eventualele operații ulterioare de corecție şi ajustare ar fi costisitoare şi ar putea avea urmări nedorite asupra structurii clădirii.

Pentru înțelegerea noțiunii de toleranță dimensională trebuie mai întâi definite conceptele de dimensiune de proiect (teoretică) şi dimensiune reală (efectivă, de execuție).

Prin dimensiuni de proiect se înțeleg dimensiunile teoretice ale conturului unui element, adică dimensiunile rezultate din calculele de rezistență şi din condițiile de rezemare sau de asamblare. Prin dimensiuni reale se înțeleg dimensiunile efective de contur ale unui element de construcție.

Teoretic, dimensiunile efective ar trebui să fie egale cu cele de proiect, dar practic acest lucru nu se poate realiza datorită inpreciziilor de măsurare, deformațiilor tiparelor, procesului tehnologic de fabricație etc.

În acest context problema care se pune este aceea de a realiza construcții ale căror dimensiuni finale să fie cât mai apropiate de cele preconizate inițial, prin proiect, dar nu identice, admițându-se în acest fel o anumită toleranță dimensională. Sfera acestei noțiuni este însă mai largă, întrucât se referă nu numai la dimensiuni, ci şi la forma şi poziția elementelor, precum şi la aspectul suprafețelor acestora.

Toleranțele reprezintă mărimea erorilor admise pentru un produs. Toleranțele în construcții se referă atât la dimensiunile (lungime, înălțime, grosime etc.) cât şi la poziția elementelor (orizontalitate, verticalitate etc.), la forma acestora (planeitatea suprafețelor, liniaritatea muchiilor, corectitudinea unghiurilor etc.), precum şi la aspectul lor. Respectarea unor limite ale toleranțelor asigură rezistența şi stabilitatea structurii construcției şi, pe de altă parte, un aspect corespunzător.

Pentru produsele standardizate (materiale de construcții şi instalații) toleranțele sunt indicate în standardele şi normele interne de fabricație, iar pentru elemente sau părți de construcții sunt prezentate în normativele de execuție şi recepție.

Prin toleranță dimensională se înțelege diferența dintre dimensiunea maximă şi cea minimă a unui produs:

$$T_D = D_{max} - D_{min} \quad (1.3)$$

unde: T_D – toleranța dimensională;

D_{max} – dimensiunea limită maximă (limita superioară admisă a dimensiunii efective a unui element de construcție);

D_{min} – dimensiunea limită minimă (limita inferioară admisă a dimensiunii efective a unui element de construcție).

Abaterea admisibilă reprezintă diferența dintre dimensiunile limită şi dimensiunile de construcție:

$$A_{ad} = D_{max/min} - D_{constr} \quad (1.4)$$

unde: D_{constr} – dimensiunea de construcție.

Există cazuri când o serie de elemente de construcție sunt cuprinse în altele, ca de exemplu tâmplăria uşilor şi ferestrelor în golurile pereților din zidărie sau beton. Pentru fiecare din cele două elemente, cuprinzător (C) şi cuprins (c) există toleranțe admise. Diferența dintre dimensiunile efective ale elementului cuprinzător şi respectiv cuprins se numeşte joc:

$$J_{max} = D^{C}_{ef.max} - D^{c}_{ef.min}; \qquad J_{min} = D^{C}_{ef.min} - D^{c}_{ef.max} \quad (1.5)$$

unde: J_{max}, J_{min} – jocul maxim, respectiv minim;

$D^{C}_{ef.max}$, $D^{C}_{ef.min}$ – dimensiunile efective maxime, respectiv minime, ale elementului cuprinzător;

$D^{c}_{ef.max}$, $D^{c}_{ef.min}$ – dimensiunile efective maxime, respectiv minime, ale elementului cuprins.

Toleranța jocului se defineşte prin diferența:

$$T_J = J_{max} - J_{min} \quad (1.6)$$

Mărimea toleranțelor este condiționată de dimensiunile elementelor şi de clasa de precizie.

Dimensiunile unui element oarecare condiționează mărimea toleranței. Dacă o grindă prefabricată din beton cu lungimea de proiect de 5,90 m va rezulta după execuție de 5,895 m (eroare de 5 mm în minus), acest lucru nu va afecta procesul de montaj. Dar dacă a gaură circulară într-o plăcuță metalică

va avea diametrul mai mic cu 5 mm, şurubul care trebuie să treacă prin ea nu va intra.

Clasa de precizie reprezintă un ansamblu de valori maxime admisibile ale toleranței, corespunzătoare fiecărui grad de precizie. Prescripțiile tehnice prevăd 10 clase, severitatea condițiilor de precizie descrescând de la clasa 1 spre clasa 10. În Tabelul 1.1 sunt prezentate toleranțele dimensionale pentru prefabricate din beton şi beton armat, pentru primele 5 clase de precizie.

Tabel 1.1

Clasa de precizie	**Domeniul dimensiunii elementelor (mm)**					
	100	**100 250**	**250 1000**	**1000 2500**	**2500 10000**	**10000**
	Toleranțe dimensionale admisibile (mm)					
I	0,5	1	2	2	3	3
II	1	2	3	3	4	5
III	2	3	4	5	6	8
IV	3	4	6	8	10	12
V	4	6	10	12	16	20

Toleranțele, ca şi multe alte mărimi numerice ce intervin în procesul de proiectare al unei construcții, au un caracter aleator. De aceea ele trebuie studiate prin mijloace statistice, folosind teoria probabilităților. O astfel de abordare poate conduce la depistarea unor erori ale procesului de fabricație sau execuție şi la o îmbunătățire a sistemului de toleranțe.

Capitolul 2
Elemente de siguranța construcțiilor

Una dintre cele mai importante exigențe de performanță pentru construcții este condiția de siguranță în exploatare, prin care se înțelege, în primul rând, rezistența şi stabilitatea la acțiuni mecanice, cu o probabilitate foarte mică (acceptabilă) de atingere a unei stări limită pe parcursul perioadei normate de exploatare a clădirii.

Multă vreme dimensiunile elementelor de construcție se adoptau fără a avea la bază vre–un calcul, doar pe baza experienței. Construcțiile astfel realizate se caracterizau în general prin masivitatea elementelor componente, ceea ce determina consumuri ridicate de materiale şi manoperă.

Odată cu progresul ştiințelor au apărut şi s-au dezvoltat posibilități de dimensionare şi verificare prin calcul a elementelor structurii, urmate de raționalizarea consumurilor la execuție.

Primele metode de calcul au fost cele deterministe, urmate de metode semiprobabilistice, utilizate pe scară largă în prezent.

Siguranța unei structuri reprezintă un concept relativ, deoarece practic nu se poate conta pe o siguranță absolută în exploatare. Prin modul de realizare al structurii (concepție – proiectare – execuție) se urmăreşte însă obținerea unei probabilități de avariere acceptabil de redusă, cu consecințe nefavorabile minime.

Siguranța construcțiilor se poate aprecia prin calcul, comparând solicitarea maximă provocată de acțiunile mecanice cu capacitatea minimă de rezistență a structurilor sau a elementelor structurale.

În principiu, dimensionarea sau verificarea de rezistență presupune parcurgerea următoarelor etape:

a. evaluarea încărcărilor ce acționează asupra elementelor în cursul exploatării construcției;

b. stabilirea eforturilor secționale sau unitare maxime din zonele cele mai solicitate ale elementelor structurale;

c. determinarea capacității minime de rezistență a secțiunilor sau a elementelor;

d. compararea eforturilor maxime cu capacitatea minimă de rezistență în scopul verificării sau dimensionării elementelor structurale.

2.1. Metode deterministe

Factorii principali de siguranță care intervin în calculele efectuate prin aceste metode se stabilesc empiric şi se consideră mărimi certe, deşi variază aleator (întâmplător).

Metodele deterministe de calcul sunt metoda rezistențelor admisibile şi metoda de calcul la rupere.

2.1.1. Metoda rezistențelor admisibile

Se bazează pe următoarele ipoteze fundamentale:

a. materialele se consideră omogene şi izotrope;

b. tensiunile (eforturile unitare) sunt proporționale cu deformațiile (legea lui Hooke);

c. secțiunile plane, normale (perpendiculare) pe axa elementelor înainte de deformare, rămân plane şi normale pe axă după deformare (ipoteza Bernoulli).

Principiul de calcul al metodei constă în compararea tensiunilor normale şi tangențiale maxime, care apar în secțiunile cele mai solicitate ale elementului, cu eforturile admisibile.

$$\sigma_{max} \le \sigma_a \; ; \qquad \tau_{max} \le \tau_a \tag{2.1}$$

Eforturile admisibile se obțin prin împărțirea unor rezistențe limită la un coeficient de siguranță unic:

$$\sigma_a \le \frac{\sigma_{lim}}{c}; \qquad \tau_a \le \frac{\tau_{lim}}{c} \tag{2.2}$$

Rezistența limită poate fi limita de curgere în cazul materialelor ductile (de exemplu oțelul) sau limita de rupere la materialele casante (cum este fonta).

Coeficientul de siguranță „c” are valori diferențiate de la un material la altul ($c = 1,7...5,0$) şi variază de asemeni funcție de natura eforturilor, de gruparea de încărcări şi de condițiile de lucru. Aceste valori erau stabilite în principal pe bază de experiență, prin observarea modului de comportare a unor construcții existente, calculate prin metoda rezistențelor admisibile.

Principalele neajunsuri ale metodei sunt:

a. consideră în mod determinist factorii siguranței, neglijând caracterul lor aleator;

b. utilizează un coeficient de siguranță unic, deşi există mai mulți factori independenți de care depinde siguranța construcției (acțiunile şi caracteristicile structurii), fiecare având un alt tip de variație;

c. neglijează unele rezerve de capacitate portantă de care dispune structura, conducând astfel la supradimensionarea elementelor.

2.1.2. Metoda de calcul la rupere

Ține seama de comportarea reală a materialelor în stadiul de rupere, care se consideră ca stadiu de calcul.

Principiul metodei constă în compararea eforturilor maxime ce se dezvoltă în secțiunea cea mai solicitată a unui element cu eforturile de rupere (capacitatea portantă), raportate la un coeficient de siguranță unic „c_r”, conform relațiilor:

$$N_{max} \le \frac{N_r}{c_r}; \quad M_{max} \le \frac{M_r}{c_r}; \quad T_{max} \le \frac{T_r}{c_r}; \qquad (2.3)$$

Deşi superioară metodei rezistențelor admisibile, întrucât se bazează pe experimentări şi oglindeşte mai bine comportarea reală a materialelor în condițiile de rupere, metoda este depăşită deoarece analizează comportarea structurii în mod unilateral, numai în stadiul de rupere, neglijând alte stadii de lucru ce apar în condiții de exploatare, la încărcări mai mici decât cele de rupere: deformații, fisurare, oboseală etc. De asemeni, menținerea coeficientului de siguranță global (unic), cu valori convenționale, constituie un alt neajuns al metodei.

2.2. Metoda semiprobabilistică a stărilor limită

Această metodă reprezintă stadiul actual pentru dimensionarea structurilor, având la bază următoarele principii:

- **a.** considerarea realistă a modului de variație a acțiunilor (Fig. 2.1) şi a caracteristicilor mecanice ale structurii (Fig. 2.2);
- **b.** asigurarea rațională împotriva riscului de atingere a stărilor limită în perioada de exploatare normată a construcției (Fig. 2.3);

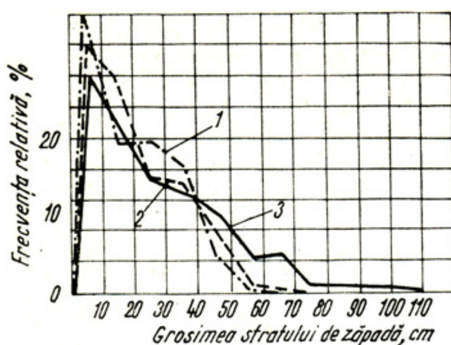


Fig. 2.1. Distribuțiile grosimii stratului de zăpadă la Moscova, pe o perioadă de 6 ani (1), 13 ani (2) şi 37 ani (3)

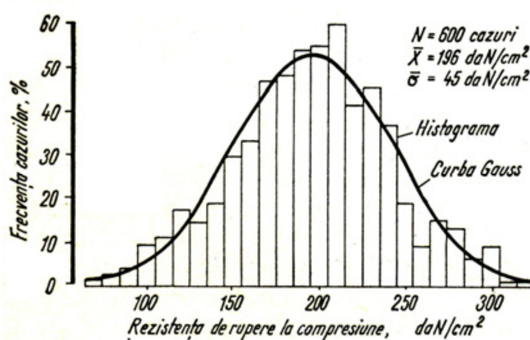


Fig. 2.2 Distribuția rezistenței de rupere a betonului la solicitarea de compresiune

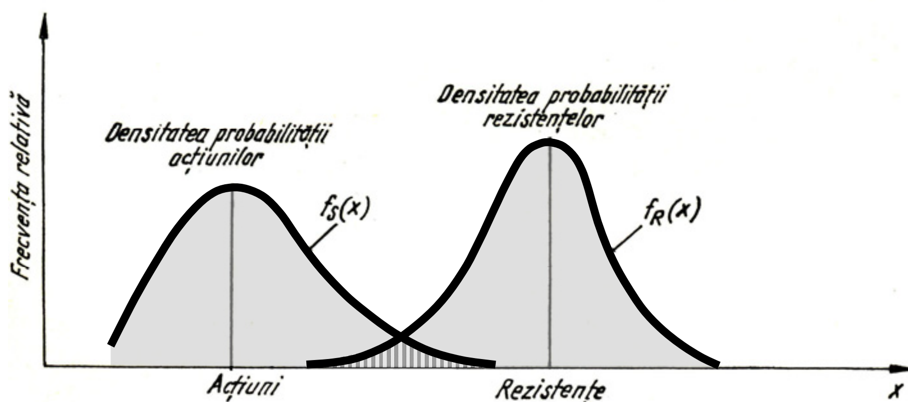


Fig. 2.3. Principiul de verificare a capacității portante

Întrucât până în prezent nu există toate datele necesare, pe baze statistice, pentru o rezolvare integral probabilistică a problemei, aplicarea metodei stărilor limită are încă un caracter semiprobabilistic.

Prin stări limită se înţeleg situaţiile în care construcţia începe să piardă capacitatea de a satisface condiţiile de exploatare conform destinaţiei, inclusiv situaţiile în care sunt puse în pericol persoane sau bunuri ce trebuie protejate.

Se definesc două grupe de stări limită: stări limită ultime şi stări limită ale exploatării normale, denumite în prezent „stări limită de serviciu".

Stările limită ultime corespund epuizării (pierderii definitive) a capacităţii portante sau a altei calităţi indispensabile pentru exploatarea construcţiei, şi pot fi cauzate de: ruperi de diferite naturi, pierderea stabilităţii formei, pierderea stabilităţii poziţiei prin răsturnare sau lunecare, apariţia unor fisuri sau deformaţii excesive etc.

Stările limită ultime sunt asociate cu prăbuşirea sau cu forme similare de cedare structurală şi implică protecţia vieţilor omeneşti şi/sau a unor bunuri de valoare deosebită.

Stările limită ale exploatării normale (stările limită de serviciu) corespund situaţiilor în care exploatarea construcţiei trebuie întreruptă temporar, dar poate fi reluată ulterior, atunci când se iau anumite măsuri de remediere sau când intensitatea acţiunilor scade. Apariţia stărilor limită din această categorie corespunde apariţiei unor deformări sau fisuri incompatibile cu folosirea construcţiei, dar temporare.

Parametrii ce intervin în calculul prin metoda stărilor limită pot fi: intensităţi, amplitudini, frecvenţe etc. (pentru acţiuni), respectiv rezistenţe, moduli de elasticitate etc. (pentru caracteristicile materialelor). Pentru calcul se definesc valori normate, denumite în prezent „valori caracteristice", şi valori de calcul ale acestor parametri.

În metoda stărilor limită se utilizează, spre deosebire de metodele deterministe, coeficienți diferențiați de siguranță, determinați pe baze ştiințifice, prin care se ține seama de modul de variație a principalilor factori ai siguranței la fiecare stare limită. Cu ajutorul acestor coeficienți se stabilesc încărcările şi solicitările maxime şi, pe de altă parte, rezistențele minime probabile ale materialelor, şi se corectează relațiile de calcul punându-se de acord cu situațiile reale.

Coeficienții specifici metodei stărilor limită sunt:

a. coeficientul încărcării „n”, denumit în prezent coeficient parțial de siguranță „γ” – aplicat (prin înmulțire) la valoarea încărcării normate şi care este de regulă supraunitar, exceptând acele acțiuni care favorizează comportarea structurii;

b. coeficientul de siguranță pentru materiale „k”, denumit în prezent coeficient parțial de siguranță pentru materiale „γ_m” – prin care se ține seama de abaterile posibile, în sens defavorabil, a rezistențelor materialelor față de valorile normate, datorită variațiilor statistice ale calității materialelor şi ale caracteristicilor geometrice ale elementelor de construcție. Acest coeficient este precizat pentru fiecare material în standardele de specialitate, şi are de regulă rolul de a reduce valorile normate;

c. coeficienții de grupare sau factorii de simultaneitate „ψ_0”, „ψ_1”, „ψ_2” (Capitolul 3, pct. 3.6) – sunt introduşi pentru considerarea probabilității reduse de apariție simultană a mai multor acțiuni cu intensități maxime.

Principiul metodei de calcul a stărilor limită constă în compararea grupărilor de acțiuni cu sistemele de valori corespunzătoare apariției diferitelor stări

limită. Funcție de natura stării limită considerate, criteriul de comparație poate fi constituit de diferiți parametri:

a. compararea încărcărilor aplicate unui element de construcție sau unei structuri cu încărcările capabile;

b. compararea eforturilor din secțiunile cele mai solicitate cu capacitatea portantă a elementului;

c. compararea tensiunilor (eforturilor unitare) din punctele cele mai solicitate cu rezistențele materialelor de construcție;

d. compararea deplasărilor sau deformațiilor statice, sau a amplitudinii deplasărilor dinamice, cu valorile limită omoloage, în cazul verificării unor condiții de exploatare;

e. compararea deschiderii fisurilor cu deschiderile limită, în cazul unor verificări specifice elementelor de beton.

În principal, calculul la stări limită se efectuează pentru starea limită de rezistență şi pentru starea limită de deformație.

În cazul stării limită de rezistență principiul de calcul constă în compararea solicitării maxime posibile S_{max} cu capacitatea portantă minimă probabilă a secțiunii considerate S_{min}^{cap}:

$$S_{max} \le S_{min}^{cap} \tag{2.4}$$

Pentru starea limită de deformație calculul constă în compararea deformației maxime (săgeată sau rotire) a elementului Δ, determinată cu valorile normate ale încărcării, cu deformația limită $\overline{\Delta}$ stabilită în prescripțiile tehnice:

$$\Delta \le \overline{\Delta} \tag{2.5}$$

Superioritatea acestei metode de calcul constă în introducerea conceptului de stare limită şi în înlocuirea coeficientului de siguranță unic cu coeficienți diferențiați, stabiliți pe baze riguros ştiințifice.

Capitolul 3
Acțiuni în construcții

Prin acțiuni se înțeleg orice cauze susceptibile de a determina solicitări mecanice ale elementelor de construcție, ca de exemplu: greutatea proprie a clădirii şi a corpurilor pe care aceasta le susține, presiunea vântului, variațiile de temperatură şi de umiditate care provoacă dilatări sau contracții, tasările neuniforme ale terenului etc. Există de asemeni acțiuni excepționale, ce pot provoca avarii deosebit de grave structurii unei construcții, mergând până la distrugerea totală a acesteia: forțele seismice, inundațiile mari, alunecările de teren, exploziile, impactul dintre avioane şi clădiri etc.

În proiectare acțiunile se reprezintă cu ajutorul schemelor de încărcare, ce cuprind sistemele de forțe, deplasări şi deformații impuse. Încărcările sunt caracterizate prin intensitate, punct de aplicație, orientare şi mod de variație în timp.

3.1. Clasificarea acțiunilor

Acțiunile (încărcările) se clasifică după mai multe criterii.

a. După modul cum variază în timp şi frecvența cu care se manifestă la anumite intensități (această clasificare este oficializată prin prescripții tehnice):

- acțiuni permanente (G sau P) – sunt acele acțiuni a căror valoare rămâne practic neschimbată pe toată durata de exploatare a construcției (de exemplu greutatea proprie a elementelor de construcție cu poziție fixă);
- acțiuni temporare (T), ce pot fi de două tipuri: cvasipermanente (aproape permanente) şi variabile.
  Acțiunile cvasipermanente (C) se manifestă cu intensități mari timp îndelungat sau foarte frecvent (greutatea pereților despărțitori neportanți, presiunea lichidelor sau gazelor din rezervoare, greutatea prafului industrial etc.).
  Acțiunile variabile (Q) sunt acele acțiuni ce se manifestă cu intensități semnificative la intervale mari sau care pot varia rapid în timp (încărcarea din zăpadă, vânt etc.).
- acțiuni excepționale (E), numite şi accidentale (A) – apar foarte rar, eventual niciodată în perioada de folosință a unei construcții, dar cu intensități deosebit de mari (acțiunea seismică, acțiunile rezultate din inundații puternice, acțiunile din explozii etc.).

b. După modul de manifestare şi efectul produs, acțiunile se clasifică în:

- acțiuni statice – care variază lent în timp, astfel încât nu determină oscilații ale structurii;

- acțiuni dinamice – variază rapid ca intensitate, direcție sau punct de aplicare, determinând oscilații ale structurii.

Mario Salvadori scrie în cartea sa „Mesajul structurilor”: „ ... un ciocan aşezat lent, uşor pe capul unui cui nu va produce nici un impact. Dar lovind cu acelaşi ciocan brusc cuiul, acesta va intra în lemn. Se poate arăta că astfel de încărcări aplicate brusc sunt echivalente cu de mai multe ori greutățile lor aplicate static.”

Există cazuri când aceeaşi acțiune poate avea caracter static sau dinamic, funcție de tipul de construcție asupra căreia se exercită. Astfel, vântul are o acțiune statică asupra construcțiilor obişnuite, cu înălțime redusă, dar poate avea o acțiune dinamică asupra construcțiilor înalte şi zvelte, sensibile la vibrații (blocuri înalte, turnuri pentru antene etc.).

c. Alte criterii de clasificare se referă la:

- cauza acțiunilor (din greutate proprie, acțiuni utile, acțiuni climatice);
- direcția de manifestare (verticale, orizontale, normale pe o suprafață).

3.2. Intensitatea acțiunilor

În trecut intensitatea acțiunilor era considerată egală cu valoarea maximă observată până la data respectivă. În prezent se ține seama de faptul ca acțiunile pot avea variații aleatoare (întâmplătoare), astfel că intensitatea lor poate fi apreciată numai în baza unor studii statistice. Prevederea posibilității de manifestare a unei acțiuni, cu o anumită intensitate, în timpul întregii perioade de exploatare a clădirii, este o problemă de probabilitate.

Pentru calculele prin metoda stărilor limita (MSL), se disting intensităţi normate şi intensităţi de calcul ale acţiunilor.

a. Intensitatea (valoarea sau mărimea) normată a încărcării, denumită în cadrul eurocodurilor valoare caracteristică a acţiunii, este o valoare de referinţă, aleasă convenţional, ţinând seama de variabilitatea statistică specifică a acţiunii respective. Modul de stabilire a intensităţii normate şi valoarea concretă a acesteia este precizată de standardul acţiunii.

b. Intensitatea de calcul a încărcării este o valoare ce se determină prin înmulţirea valorii (intensităţii) normate cu un coeficient al încărcării, numit coeficient parţial de siguranţă, prin care se ţine seama de abaterile posibile (altele decât cele statistice) în sens defavorabil pentru structură, ale intensităţii în raport cu valorile caracteristice.

Coeficientul încărcării are semnificaţia unui coeficient de siguranţă şi are valori diferenţiate în raport cu acţiunea considerată şi cu tipul de stare limită pentru care se face verificarea. Uneori coeficientul parţial de siguranţă poate lua şi valori subunitare, în cazul când acţiunea are efect favorabil.

Rolul coeficientului de siguranţă nu se referă la greşeli de calcul, neglijenţe de execuţie, exploatarea necorespunzătoare a construcţiei etc. Acest coeficient se referă numai la posibilitatea depăşirii valorilor caracteristice datorită unor variaţii ale intensităţii acţiunii. În consecinţă, coeficientul de siguranţă ţine seama numai de acele variaţii care sunt posibile când se respectă proiectul şi prescripţiile tehnice.

3.3. Acţiuni permanente

Prin acţiuni permanente se înţeleg acele încărcări care se exercită pe întreaga perioadă de existenţă a unei construcţii. În această categorie intră:

a. greutatea elementelor de construcţie ce rămân nemodificate pe toată durata exploatării (pereţi structurali, stâlpi, grinzi, planşee etc.);

b. greutatea şi împingerea pământului (în cazul construcțiilor subterane, la pereții subsolurilor etc.);
c. efectele precomprimării betonului.

Valoarea caracteristică (normată) P_k a încărcării permanente dată de greutatea proprie a unui element de construcție se calculează cu relația:

$$P_k = \gamma . V \tag{3.1}$$

unde: γ – greutatea tehnică a materialului (greutatea materialului după ce a fost pus în operă) (daN/m^3);
V – volumul elementului (m^3).

Greutățile tehnice ale materialelor se consideră în starea de îndesare şi cu umiditatea de echilibru pe care acestea le au în construcție. Greutățile tehnice sunt exprimate sub formă de greutate specifică în cazul materialelor omogene compacte (metale, sticlă, lichide etc.), greutate specifică aparentă în cazul materialelor poroase (beton, cărămidă, lemn), greutate specifică în grămadă sau în vrac (ciment, balast, nisip), greutate specifică în stivă (cherestea, cărămizi). În Tabelul 3.1 sunt prezentate greutățile tehnice pentru o serie de materiale de construcții.

Tabel 3.1 Greutăți tehnice (daN/m^3)

Material	Greutate tehnică	Material	Greutate tehnică
Polistiren expandat	20	Zidărie cărămidă	1200...1800
Pâslă minerală	250	Nisip	1600
Lemn	600...800	Pietriş	1600
B.C.A.	500...1050	Argilă	1800
Granulit vrac	900	Beton simplu	2100
Oțel	7850	Beton armat	2400...2500

Greutățile tehnice efective sunt diferite de cele nominale. La metale diferența este neglijabilă, dar la elementele din beton sau din alte materiale pot să apară diferențe semnificative. De exemplu, greutatea tehnică a betonului, conform unor studii statistice, poate varia conform graficului din Fig. 3.1.

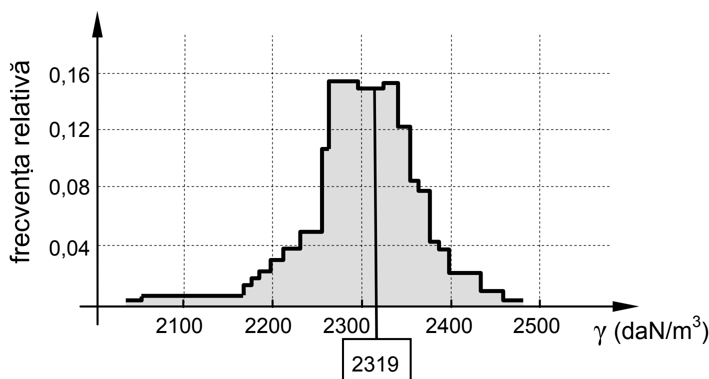


Fig. 3.1. Variabilitatea statistică a greutății specifice a betonului

Volumul se calculează pe baza dimensiunilor de execuție obținute în urma calculelor de proiectare. După cum s-a arat în primul capitol, dimensiunile reale prezintă abateri față de cele din proiect.

În consecință, este necesară utilizarea unui coeficient al încărcării, denumit în standardele actuale coeficient parțial de siguranță, care ia în considerare abaterile aleatoare ale dimensiunilor elementelor.

Valoarea de calcul a încărcării permanente P_d se va determina cu relația:

$$P_d = \gamma_p . P_k \tag{3.2}$$

unde: γ_p – coeficient (factor) parțial de siguranță.

Reducerea greutății proprii a construcțiilor constituie un obiectiv de perfecționare şi o măsura a nivelului de performanță atins. Preocupările în

acest sens conduc la consumuri mici de materiale, transporturi şi manipulări mai reduse, dar şi la scăderea intensității acțiunii seismice care este direct proporțională cu masa construcției. Dacă vechile piramide egiptene se caracterizau printr-o greutate medie de cca. 2000 daN/m^3, clădirile actuale cu structură din beton armat au cca. 400 daN/m^3.

3.4. Acțiuni temporare

3.4.1. Acțiuni temporare cvasipermanente

Aceste acțiuni se manifestă cu intensități medii timp îndelungat sau cu intensități mari în mod frecvent. În această categorie intră: greutatea pereților despărțitori neportanți, greutatea utilajelor fixe, greutatea conținutului rezervoarelor, greutatea prafului industrial etc.

Pentru construcțiile civile interesează în principal încărcarea dată de greutatea pereților despărțitori, care pot fi modificați în decursul perioadei de exploatare a construcției sau pot fi desființați fără a afecta structura de rezistență a clădirii. Această acțiune se consideră în mod simplificat ca o sarcină uniform distribuită pe toată suprafața planşeului pe care sprijină aceşti pereți, cu valoarea cuprinsă între 50...150 daN/m^2, funcție de greutatea efectivă a peretelui. Această simplificare (aproximare) este permisă cu două condiții:

- greutatea proprie a pereților să nu depăşească 500 daN/ml;
- pereții despărțitori să nu fie situați pe un singur element de rezistență, căruia să-i transmită integral încărcarea din greutatea proprie (aceşti pereți nu trebuie să rezeme, de exemplu, pe o singură grindă sau pe o singură fâşie prefabricată a planşeului).

3.4.2. Acțiuni temporare variabile

Sunt acele acțiuni care se manifestă cu intensități semnificative la intervale mari sau care variază sensibil cu timpul. Din această categorie fac parte: încărcările utile, încărcările climatice, încărcările din poduri rulante etc.

3.4.2.1. Încărcări utile

Sunt reprezentate de greutatea oamenilor, mobilierului, aparatelor, instalațiilor etc. Mario Salvadori scria: „Aceste încărcări nepermanente pot fi deplasate sau pot varia ca intensitate. Poți fi singur într-o cameră astăzi şi să ai zece musafiri mâine. Aceştia se pot aduna într-un colț sau pot fi împrăştiați în toată camera. Locatarul următor poate avea o mobilă masivă şi o poate amplasa diferit. Este evident că nu putem şti niciodată exact ce încărcare utilă avem şi cum urmează să fie distribuită."

Datorită faptului că nu putem controla foarte exact mărimea şi poziția încărcărilor utile şi pentru a nu complica calculele de proiectare, prescripțiile tehnice asimilează aceste încărcări, care în general sunt neuniform distribuite, cu încărcări verticale uniform distribuite pe planşee, având valori considerate echivalente cu cele din realitate şi determinate pe baza unor studii statistice, dar mai cu seamă pe baza experienței de proiectare. De exemplu, pentru încăperile clădirilor de locuințe încărcarea utilă normată (caracteristică) se consideră egală cu 150 daN/m^2. În Tabelul 3.2 sunt date valorile încărcărilor utile, conform standardului în vigoare, pentru o serie de zone dintr-o clădire.

Planşeele încărcate cu sarcina utilă pot avea următoarele scheme de încărcare: încărcare completă sau încărcare parțială (în şah) pentru obținerea celor mai defavorabile ipoteze.

Deoarece este puțin probabil ca încărcările utile să atingă valorile maxime pe toată suprafața planşeului şi simultan la toate etajele, la verificarea elementelor structurale indirect încărcate (grinzi, stâlpi, pereți, fundații) se aplică coeficienți subunitari de reducere a încărcărilor.

Tabel 3.2 Încărcări utile normate (caracteristice)

Zona verificată	**Intensitatea (daN/m^2)**
Acoperişuri şi terase necirculabile cu panta: – peste 5% – sub 5%	 50 75
Idem circulabile	200
Locuințe, hoteluri, creşe etc.	150
Birouri, clase	200
Balcoane, loggii	200
Poduri necirculabile	75
Spații de acces: scări, coridoare etc.	300
Săli de spectacole, magazine etc.	400
Tribunale: – cu locuri fixe – fără locuri fixe	 400 500

3.4.2.2. Acțiunea zăpezii

Această acțiune face parte din categoria încărcărilor variabile climatice şi poate fi extrem de periculoasă pentru unele tipuri de acoperişuri, în anumite condiții climatice. Mario Salvadori relatează despre prăbuşirea acoperişului unui patinoar: „Unul dintre acoperişurile metalice cele mai mari din Statele Unite, peste un patinoar de hochei pe gheață din Hartford, Connecticut, s-a prăbuşit deoarece nu a putut suporta o încărcare neobişnuită cu zăpadă.

Din fericire, patinoarul nu era folosit în acel moment. Acoperişul era rezemat pe patru stâlpi puternici şi avea dimensiunile de 110 x 91,5 m. A căzut în câteva secunde.”

Situații similare au existat la acoperişul Pavilionului Expozițional din Bucureşti, unde încărcarea din zăpadă a atins o cifră record, de cca. 700 daN/m^2, şi la vechea hală de peşte din Iaşi, ce era situată în Centrul civic, în zona restaurantului Dunărea. În Fig. 3.2 sunt redate câteva situații la care încărcarea din zăpadă a condus la cedarea unor elemente structurale ale acoperişului şi pereților unor clădiri civile şi industriale.



Fig. 3.2. Avarii provocate de acțiunea zăpezii

Factorii de care depinde încărcarea din zăpadă sunt:

- greutatea proprie a zăpezii (cca. 235 daN/m^3), care depinde de gradul de îndesare şi de prezența pulberilor sau a gheții;
- grosimea stratului de zăpadă, dependentă de zona geografică şi de perioada de revenire (numărul mediu de ani în care valoarea unui anumit parametru poate fi atinsă o singură dată);
- forma acoperişului şi clădirii, poziția şi forma imobilelor învecinate, tipul reliefului, toate acestea influențând aglomerarea zăpezii sub acțiunea vântului.

Acțiunea zăpezii pe suprafața expusă a elementului de construcție considerat se calculează, conform normativului în vigoare, cu relația:

$$s_k = \mu_i . C_e . C_t . s_{0,k} \qquad (3.3)$$

unde: s_k – valoarea caracteristică a încărcării din zăpadă pe acoperiş (daN/m^2);

μ_i – coeficient de formă (aglomerare) pentru încărcarea din zăpadă, în zona considerată de pe clădire, datorită formei acoperişului;

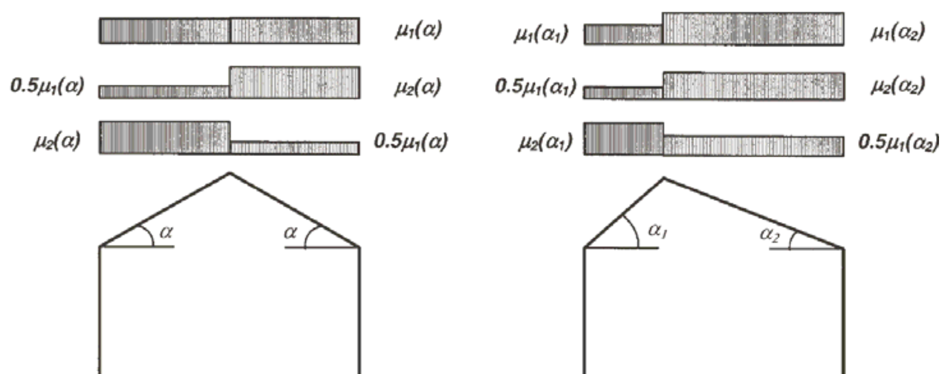
C_e – coeficient prin care se ține seama de condițiile de expunere ale amplasamentului construcției;

C_t – coeficient termic prin care se ține seama de topirea zăpezii datorită pierderilor termice ale clădirii;

$s_{o,k}$ – valoarea caracteristică (numită şi greutate de referință) a încărcării din zăpadă pe sol: reprezintă greutatea stratului de zăpadă depusă pe teren plan orizontal, în zona unde este amplasată construcția (daN/m^2).

Coeficientul de formă μ_i este prevăzut în standardul pentru încărcarea din zăpadă, funcție de forma acoperişului (mărimea pantei, prezența unor denivelări, prezența unor obstacole etc.), pentru diverse situații, întâlnite în mod frecvent. O astfel de situație este prezentată, ca exemplu, în Fig. 3.3.

Pentru construcții de importanță deosebită şi sensibile la acțiunea combinată a zăpezii şi vântului, se recomandă ca valorile μ_i să se determine experimental pe modele la scară redusă, în tunelul aerodinamic, utilizând materiale cu proprietăți asemănătoare zăpezii (rumeguş, pilitură din lemn de brad etc.).



α	μ_1	μ_2
$0 < \alpha \leq 30^o$	0,8	$0{,}8\,\dfrac{30+\alpha}{30}$
$30^o < \alpha \leq 60^o$	$0{,}8\,\dfrac{60-\alpha}{30}$	1,6
$\alpha > 60^o$	0,0	–

Fig. 3.3. Coeficientul de formă μ_i pentru acoperişuri cu două pante

Coeficientul C_e ține cont de gradul de expunere al clădirii la vânt, funcție de prezența în vecinătatea construcției a unor obstacole (alte clădiri, plantații etc.), şi are valorile recomandate: 0.8 (expunere completă), 1.0 (expunere parțială) şi 1.2 (expunere redusă).

Coeficientul termic C_t poate reduce încărcarea dată de zăpadă pe acoperiş în cazuri speciale, când capacitatea de izolare a acoperişului este limitată şi căldura cedată duce la topirea zăpezii. În aceste cazuri valoarea coeficientului termic se determină prin studii speciale. Pentru acoperişurile prevăzute cu strat termoizolant, coeficientul termic $C_t = 1.0$.

Valoarea caracteristică a încărcării din zăpadă pe sol (greutatea de referință) $s_{0,k}$ se determină pe bază de analiză statistică a şirurilor de observații meteorologice asupra greutății şi grosimii stratului de zăpadă la nivelul terenului plat. Valorile greutății de referință pentru altitudini sub 1000 m sunt funcție de zona geografică, conform hărții de zonare din cadrul codului pentru evaluarea acțiunii din zăpadă (Fig. 3.4), şi pot avea valori de 150, 200 sau 250 daN/m^2. Pentru regiunile montane cu altitudini peste 1000 m, greutatea de referință pe sol se determină cu relațiile prevăzute în normativ, funcție de mărimea efectivă a altitudinii. În acest caz rezultă valori cuprinse în intervalul 150...760 daN/m^2.

Determinarea intensității de calcul s_d a încărcării din zăpadă se face cu relația:

$$s_d = \gamma . s_k \tag{3.4}$$

în care cu γ s-a notat coeficientul încărcării, denumit în standard coeficient parțial de siguranță, care depinde de o multitudine de factori: zona climatică, gruparea de încărcări şi starea limită la care se face verificarea,

raportul dintre încărcările gravitaționale ale acoperişului şi încărcarea din zăpadă, clasa de importanță a structurii calculate.

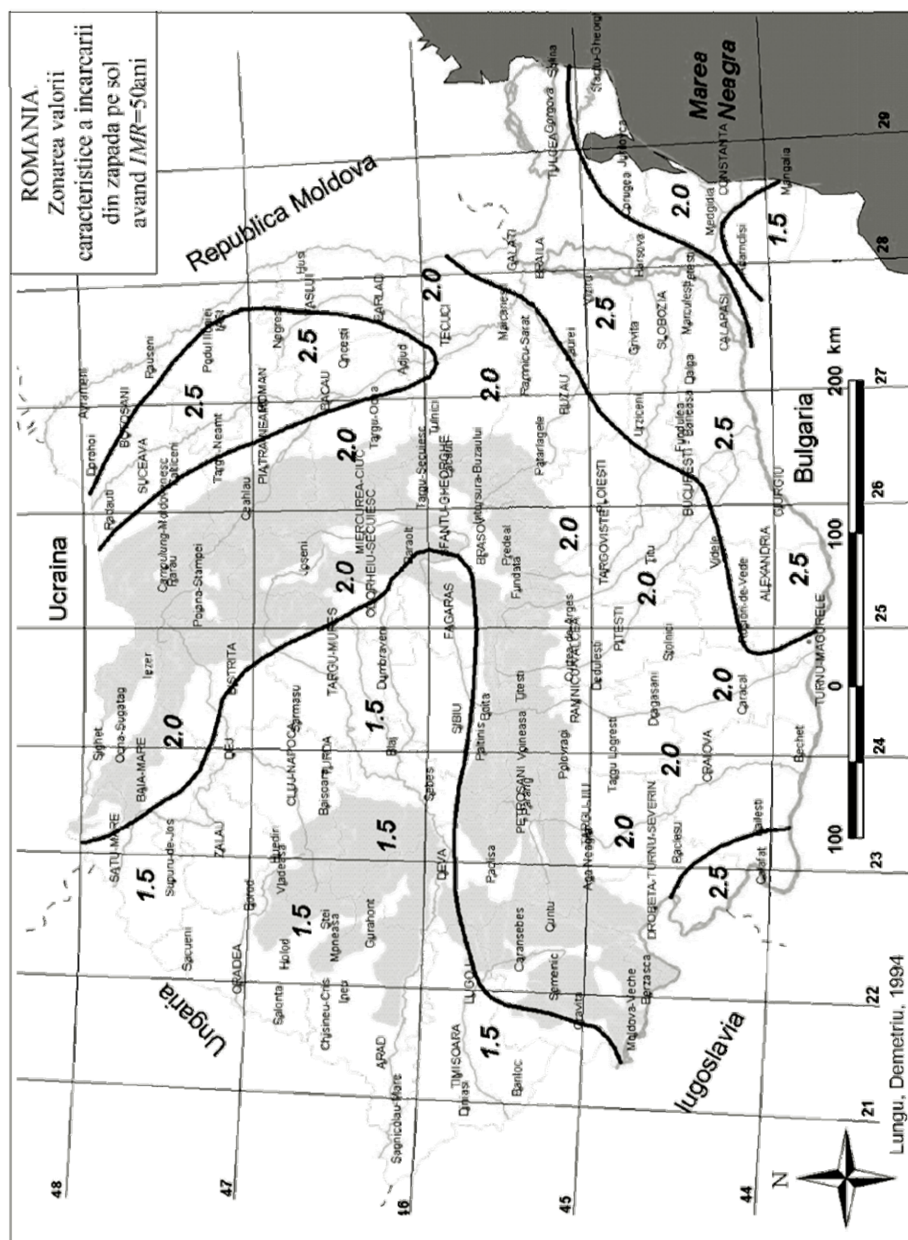


Fig. 3.4. Harta de zonare a valorii caracteristice a încărcării din zăpadă pe sol $s_{0,k}$ (kN/m^2)

Deoarece încărcarea din zăpadă poate deveni extrem de periculoasă, mai ales pentru acoperişurile uşoare sau de tip membrană, în procesul de proiectare trebuie luate în considerare o serie de aspecte nefavorabile cum ar fi:

- distribuția asimetrică a zăpezii datorită vântului (Fig. 3.5.a);
- aglomerări mari de zăpadă, care sunt posibile dacă forma acoperişului este nefavorabilă (Fig. 3.5.b);
- mărirea greutății zăpezii din cauza pulberilor industriale sau a gheții.

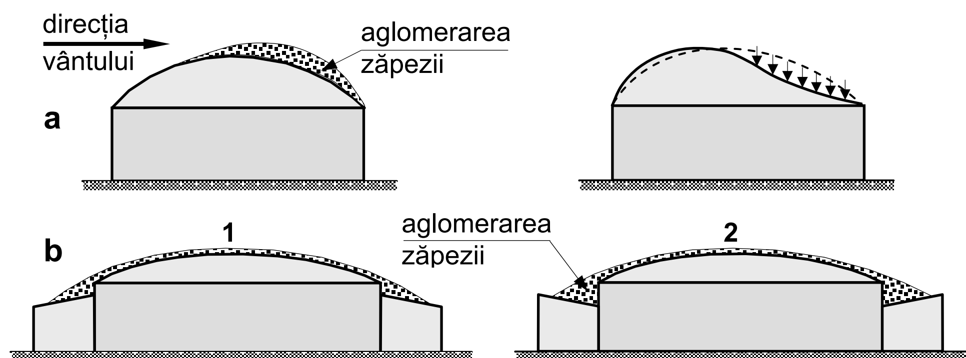


Fig. 3.5. a. acoperiş tip membrană încărcat asimetric
b. forma favorabilă (1) şi nefavorabilă (2) de acoperiş

3.4.2.3. Acțiunea vântului

A. Generalități

Deşi încărcarea din vânt este încadrată în categoria acțiunilor temporare variabile, efectele sale pot fi deosebit de grave, în special asupra construcțiilor flexibile de dimensiuni mari. Prăbuşirea în 1940 a podului metalic Tacoma Narrows din Washington, datorită unor oscilații de torsiune ale tablierului (Fig. 3.6), sau a turnurilor de răcire din beton armat ale centralei energetice Ferrybridge din Anglia în 1965 (Fig. 3.7) sunt doar două exemple în acest sens. Astfel de situații pun în pericol vieți omeneşti şi în plus au ca urmare pagube materiale foarte mari, în SUA acestea fiind evaluate la peste 500 milioane de dolari anual (la nivelul anilor '80).

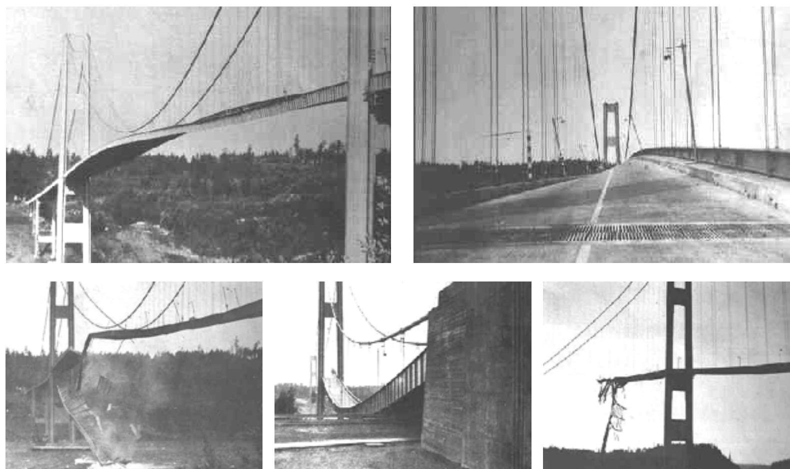


Fig. 3.6. Prăbuşirea podului metalic Tacoma Narrows (SUA, 1940)

Fig. 3.7. Prăbuşirea turnurilor de răcire ale centralei Ferrybridge (Anglia, 1965)

Încărcarea din vânt este rezultatul interacțiunii dintre masele de aer în mişcare, cu direcție preponderent orizontală şi obstacolele constituite de construcții.

Caracterul complex al acțiunii vântului este determinat, printre altele, de faptul că în vecinătatea construcțiilor liniile de curent (direcțiile de circulație ale maselor de aer) sunt deviate, luând traiectorii complicate (Fig. 3.8).

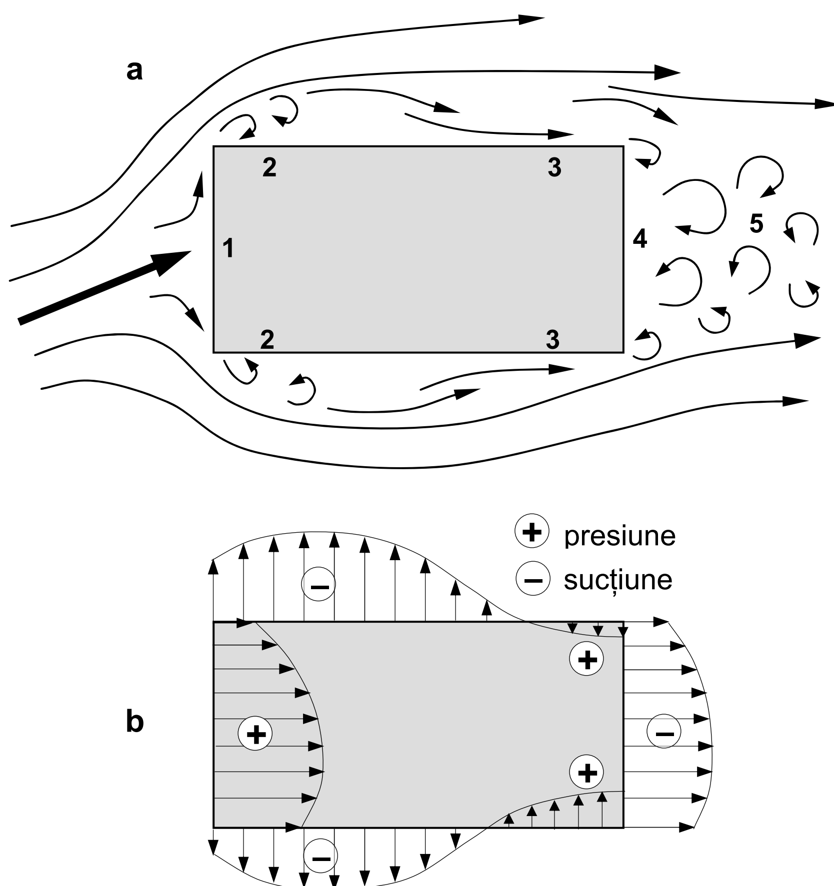


Fig. 3.8. Curgerea aerului în jurul unei clădiri, datorită vântului
a. direcția curenților; **b.** diagrama de presiuni
1. punct de stagnare; **2.** zone cu vârtejuri ce se desprind de clădire;
3. zone de realipire a curenților; **4.** zonă cu presiuni negative (sucțiuni);
5. zonă de vârtejuri (siaj)

Astfel, pe fațada clădirii expusă direct vântului apar presiuni superioare celei atmosferice (Fig. 3.8 pct. 1). Pe fațadele laterale iau naştere vârtejuri induse de colțurile clădirii ce se desprind periodic, alunecând în sensul curgerii (Fig. 3.8, pct. 2), în continuare curenții având tendința să se realipească de clădire (Fig. 3.8, pct. 3). În spatele clădirii se formează o zonă cu presiuni negative numite sucțiuni (Fig. 3.8, pct. 4), şi o dâră de vârtejuri alternante (siaj) asemănătoare cu urma lăsată pe apă de un vapor în mişcare (Fig. 3.8, pct. 5).

Pe de altă parte, grupurile de clădiri pot determina efecte defavorabile ale acțiunii vântului, cum este de exemplu efectul de tunel ce apare între grupuri de clădiri paralele şi determină creşterea locală a vitezei vântului (Fig. 3.9.a), sau efectul de pâlnie între clădiri neparalele, având ca urmare majorarea vitezei curenților de aer (Fig. 3.9.b).

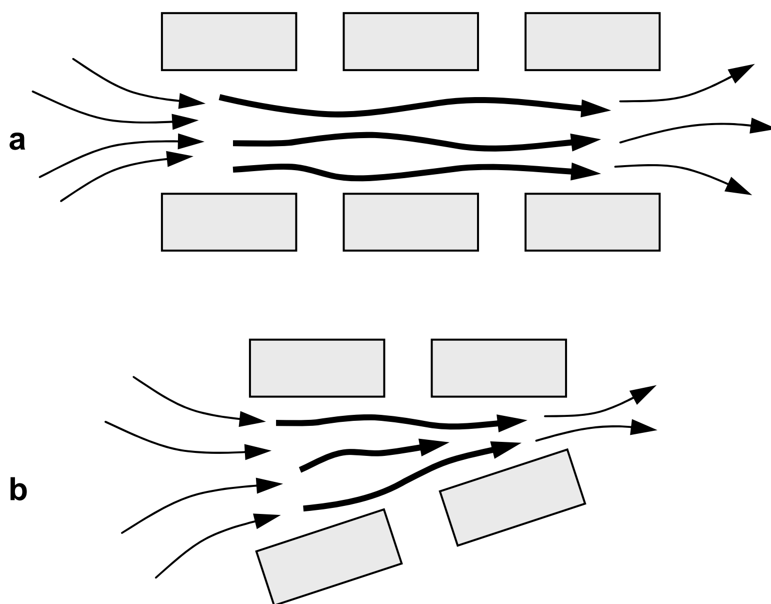


Fig. 3.9. Efecte defavorabile ale acțiunii vântului
a. efectul de tunel; **b.** efectul de pâlnie

În ceea ce priveşte modul în care vântul îşi poate manifesta acțiunea asupra construcțiilor, trebuie remarcat faptul că această încărcare poate avea caracter static sau dinamic, funcție de tipul de clădire asupra căreia se exercită. În general, se poate considera că vântul are o acțiune statică asupra clădirilor grele, cu înălțime redusă, şi o acțiune dinamică asupra construcțiilor înalte şi zvelte, sensibile la vibrații. Într-o exprimare mai riguroasă, vântul are o acțiune statică dacă perioada rafalelor este mai mare decât perioada de vibrație a clădirii, şi dinamică în caz contrar.

Mario Salvadori scria: „ ... De exemplu, o rafală de vânt atingând intensitatea maximă şi apoi descrescând în două secunde constituie o încărcare dinamică pentru turnurile lui Word Trade Center ce au o perioadă de zece secunde, dar aceeaşi rafală de două secunde este o încărcare statică pentru o clădire de cărămidă cu zece etaje care are o perioadă de numai o jumătate de secundă.”

Ca urmare, efectul dinamic al acțiunii vântului se manifestă prin:

- oscilații longitudinale, pe direcția de deplasare a curentului de aer, datorită faptului că viteza vântului este fluctuantă, crescând şi scăzând aleator în raport cu viteza medie;
- oscilații transversale, datorită vârtejurilor care se desprind periodic pe lângă suprafețele laterale ale construcției (efectul este asemănător cu mişcarea şerpuită a unui steag fixat pe un pilon); dacă perioada de pulsație a vârtejurilor laterale coincide cu cea a construcției se ajunge la fenomenul de rezonanță, deosebit de periculos.

În concluzie, acțiunea vântului poate avea efecte generale, de ansamblu, asupra clădirilor (construcția tinde să fie deplasată, răsturnată, torsionată etc., Fig. 3.10) şi efecte locale (avarierea unor pereți, desprinderea învelitorii acoperişului, spargerea geamurilor, infiltrații nedorite de aer în clădire etc., Fig. 3.11).









Fig. 3.10. Efecte de ansamblu ale uraganelor

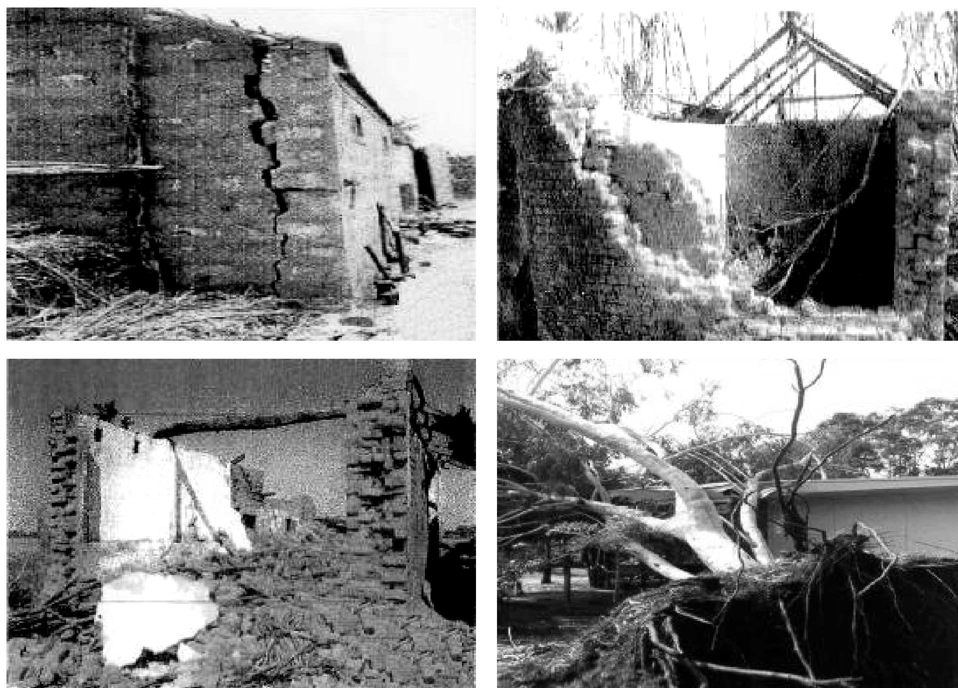


Fig. 3.11. Efecte locale ale acțiunii vântului

B. Caracteristici de bază ale vântului

Vântul este un fenomen aleator, având drept caracteristică principală viteza. Aceasta este o mărime vectorială, care variază în raport cu timpul şi cu spațiul. Fiind o mărime aleatoare, viteza poate fi studiată în mod precis numai cu ajutorul metodelor statistice şi a teoriei probabilităților.

Principial, viteza medie a vântului, notată cu U, se poate determina cu ajutorul unei relații de forma:

$$U = \frac{u_1 + u_2 + \ldots + u_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} u_i}{n} \tag{3.5}$$

în care: u_i – viteza vântului la momentul „i” (m/s).

În cazul în care viteza este exprimată sub forma unei funcții u(t) în raport cu timpul, expresia precedentă a vitezei medii devine:

$$U = \frac{1}{T}\int_{0}^{T} u(t)\,dt \qquad (3.6)$$

unde: u(t) – viteza la momentul „t” (m/s);

T – intervalul de mediere, ce reprezintă durata de timp pentru care se calculează viteza medie (min).

Codul românesc actual introduce noțiunea de „viteză de referință”, notată U_{ref}, definită ca fiind viteza vântului mediată pe o durată T = 10 min., măsurată la o înălțime de 10 m, în câmp deschis şi având o probabilitate de depăşire într-un an de 0,02 (2%).

Viteza vântului la un anumit moment poartă numele de viteză instantanee (Fig. 3.12), şi poate fi exprimată cu o expresie de forma:

$$U(z,t) = U(z) + u(z,t) \qquad (3.7)$$

unde: U(z,t) – viteza instantanee a vântului la momentul „t”, la înălțimea „z” (m/s);

U(z) – viteza medie a vântului la înălțimea „z” (m/s);

u(z,t) – partea fluctuantă a vitezei vântului (componenta de rafală) la momentul „t”, la înălțimea „z” (m/s).

Viteza medie a vântului creşte cu înălțimea față de teren, datorită frecării aerului cu suprafața rugoasă a pământului, până la o cotă numită înălțime de gradient, după care rămâne constantă (Fig. 3.13). Această variație este cel mai bine descrisă de o lege logaritmică. Pentru o categorie de teren cu o anumită rugozitate, legea logaritmică scrisă în forma standard este dată de relația (3.8).

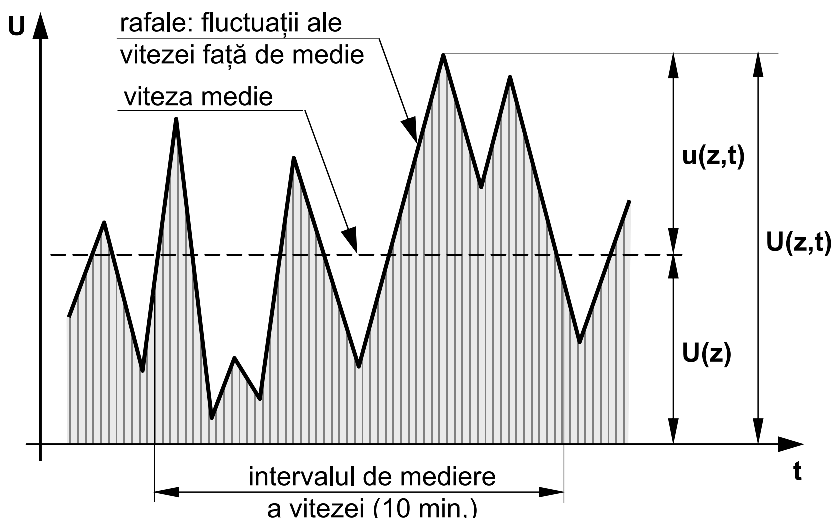


Fig. 3.12. Variația vitezei vântului în timp

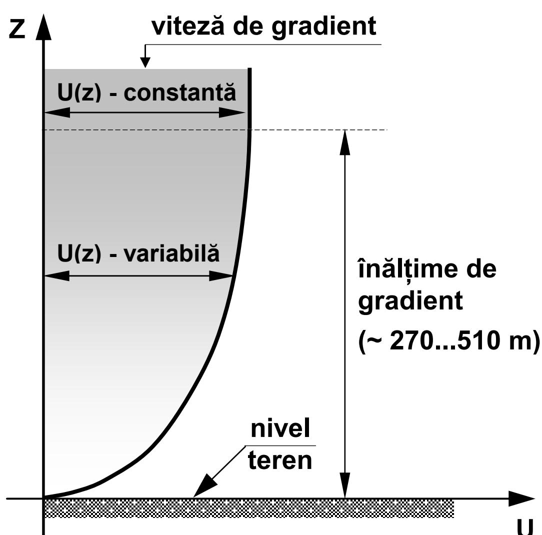


Fig. 3.13. Variația vitezei vântului cu înălțimea

$$\frac{U(z)}{U(z_r)} = \frac{\ln \frac{z}{z_o}}{\ln \frac{z_r}{z_o}} \tag{3.8}$$

unde: U(z) – viteza medie a vântului la înălțimea "z" deasupra terenului (m/s);

$U(z_r)$ – viteza medie a vântului la o înălțime de referință "z_r" deasupra terenului (m/s);

z – înălțimea deasupra terenului (m);

z_r – înălțimea de referință deasupra terenului (uzual z_r = 10 m) (m);

z_o – lungimea de rugozitate: reprezintă o măsură a mărimii vârtejurilor vântului turbulent la suprafața terenului (m).

Datorită vitezei, atunci când vântul întâlneşte un obstacol, ia naştere o presiune. Considerând că în calea vântului se află o suprafață plană verticală, dispusă perpendicular pe direcția vântului, presiunea exercitată în punctul de stagnare situat în centrul plăcii, se numeşte presiune de referință şi are valoarea:

$$q_{ref} = \frac{1}{2}\rho_a . U_{ref}^2 \tag{3.9}$$

unde: ρ_a – densitatea aerului, ce variază funcție de altitudine şi temperatură.

C. Calculul încărcărilor din vânt

Constă în determinarea forțelor normale (perpendiculare) ce acționează asupra elementelor exterioare de închidere, şi a forțelor tangențiale, de frecare, distribuite la suprafața exterioară a construcției.

a) Presiunea vântului la înălțimea „z” deasupra terenului, normală pe suprafețele structurii, se determină cu relația:

$$w(z) = c_e(z).c_p.q_{ref} \qquad (3.10)$$

unde: $w(z)$ – presiunea normală a acțiunii vântului (daN/m^2 sau Pa);

$c_e(z)$ – factorul de expunere la înălțimea „z” deasupra terenului;

c_p – coeficient aerodinamic de presiune;

q_{ref} – presiunea de referință a vântului (daN/m^2 sau Pa).

Factorul de expunere $c_e(z)$ ține cont de influența rafalelor vântului şi a rugozității terenului, fiind exprimat prin relația:

$$c_e(z) = c_g(z).c_r(z) \qquad (3.11)$$

unde: $c_g(z)$ – factorul de rafală, exprimat ca raport între presiunea de vârf produsă de rafalele vântului şi presiunea medie, produsă de viteza medie a vântului: $c_g(z) = q_g(z)/Q(z)$;

$c_r(z)$ – factorul de rugozitate, dat de raportul dintre presiunea medie a vântului la înălțimea „z” şi presiunea de referință: $c_r(z) = q(z)/q_{ref}$.

Variația factorului de expunere funcție de înălțimea deasupra terenului, pentru viteza vântului mediată pe 10 min., este reprezentată în graficele din Fig. 3.14. pentru diferite categorii de teren (diverse rugozități).

Coeficientul aerodinamic c_p are semnificația unui raport între presiune normală w(z) într-un punct pe suprafața clădirii şi presiunea de referință q_{ref} într-un punct aflat la distanță de clădire, într-o zonă în care curenții de aer

nu sunt perturbați de construcție. Acest coeficient depinde de geometria şi dimensiunile clădirii, de unghiul de atac al vântului, de rugozitatea terenului.

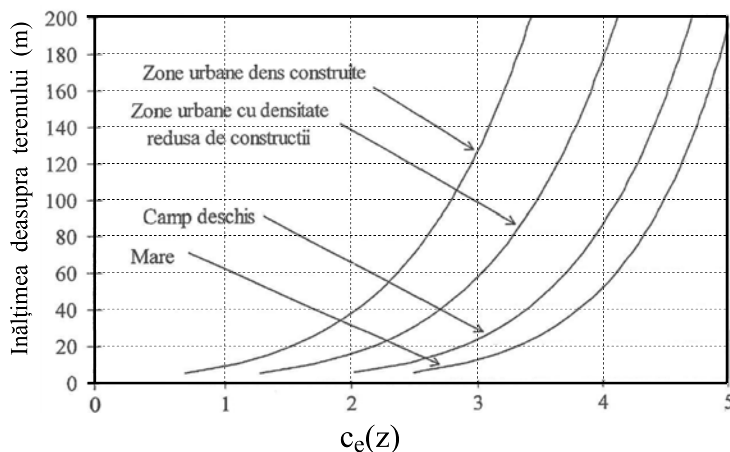


Fig. 3.14. Factorul de expunere $c_e(z)$

Coeficienții aerodinamici sunt prevăzuți în standardul acțiunii vântului, cu valori maxime (acoperitoare), pentru următoarele tipuri de structuri: clădiri, copertine, pereți verticali izolați, garduri şi panouri pentru reclamă, elemente structurale cu secțiune rectangulară, poligonală sau circulară, structuri cu zăbrele, steaguri etc.

De exemplu, în Fig. 3.15 este reprezentată zonarea pereților exteriori ai unei clădiri dreptunghiulare, iar în Tabelul 3.3 valorile coeficienților aerodinamici corespunzători acestor zone, conform codului pentru acțiunea vântului.

În cazuri deosebite (clădiri de dimensiuni mari, cu forme complicate, situate în zone cu configurație geometrică complexă etc.) pentru determinarea precisă a coeficienților aerodinamici se apelează la simulări în tunelul aerodinamic.

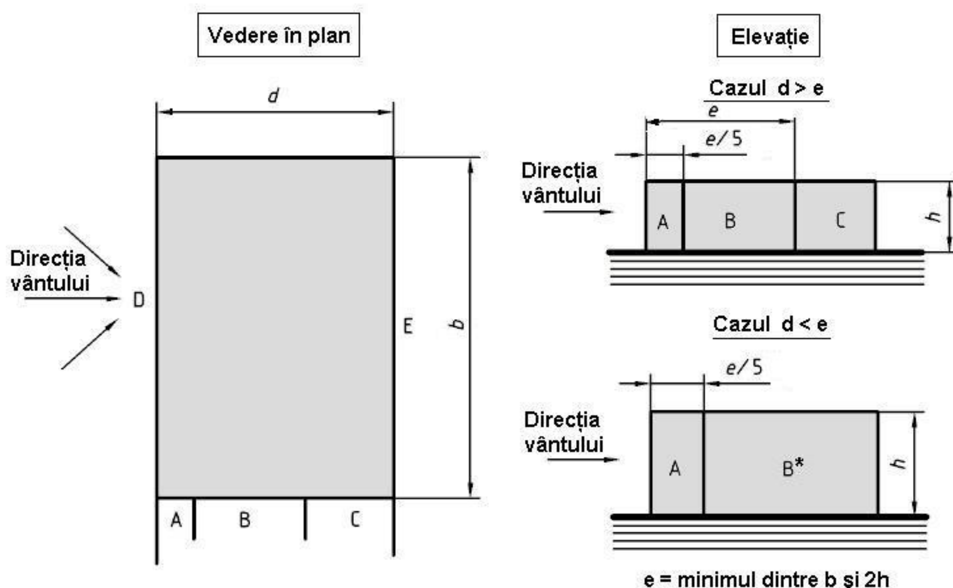


Fig. 3.15. Zone caracteristice la pereții verticali ai clădirilor dreptunghiulare

Tabel 3.3. Coeficienții aerodinamici pentru zonele pereților din Fig. 3.15

Zona	**A**		**B, B***		**C**		**D**		**E**	
d/h	$c_{p,10}$	$c_{p,1}$	$c_{p,10}$	$c_{p,1}$	$c_{p,10}$	$c_{p,1}$	$c_{p,10}$	$c_{p,1}$	$c_{p,10}$	$c_{p,1}$
≤ 1	–1.0	–1.3	–0.8	–1.0	–0.5		+0.8	+1.0	–0.3	
≥ 4	–1.0	–1.3	–0.8	–1.0	–0.5		+0.6	+1.0	–0.3	

$c_{p,10}$ – coeficientul aerodinamic pentru arii expuse de minim 10 m^2
$c_{p,1}$ – coeficientul aerodinamic pentru arii expuse de maxim 1 m^2
(pentru valori intermediare ale ariilor expuse, sau ale raportului d/h, coeficienții aerodinamici se obțin prin interpolare liniară)

Presiunea de referință q_{ref} a vântului în România, determinată funcție de viteza de referință mediată pe 10 min. şi având 50 ani interval mediu de recurență (perioadă de revenire) este indicată în harta de zonare din codul acțiunii vântului (Fig. 3.16).

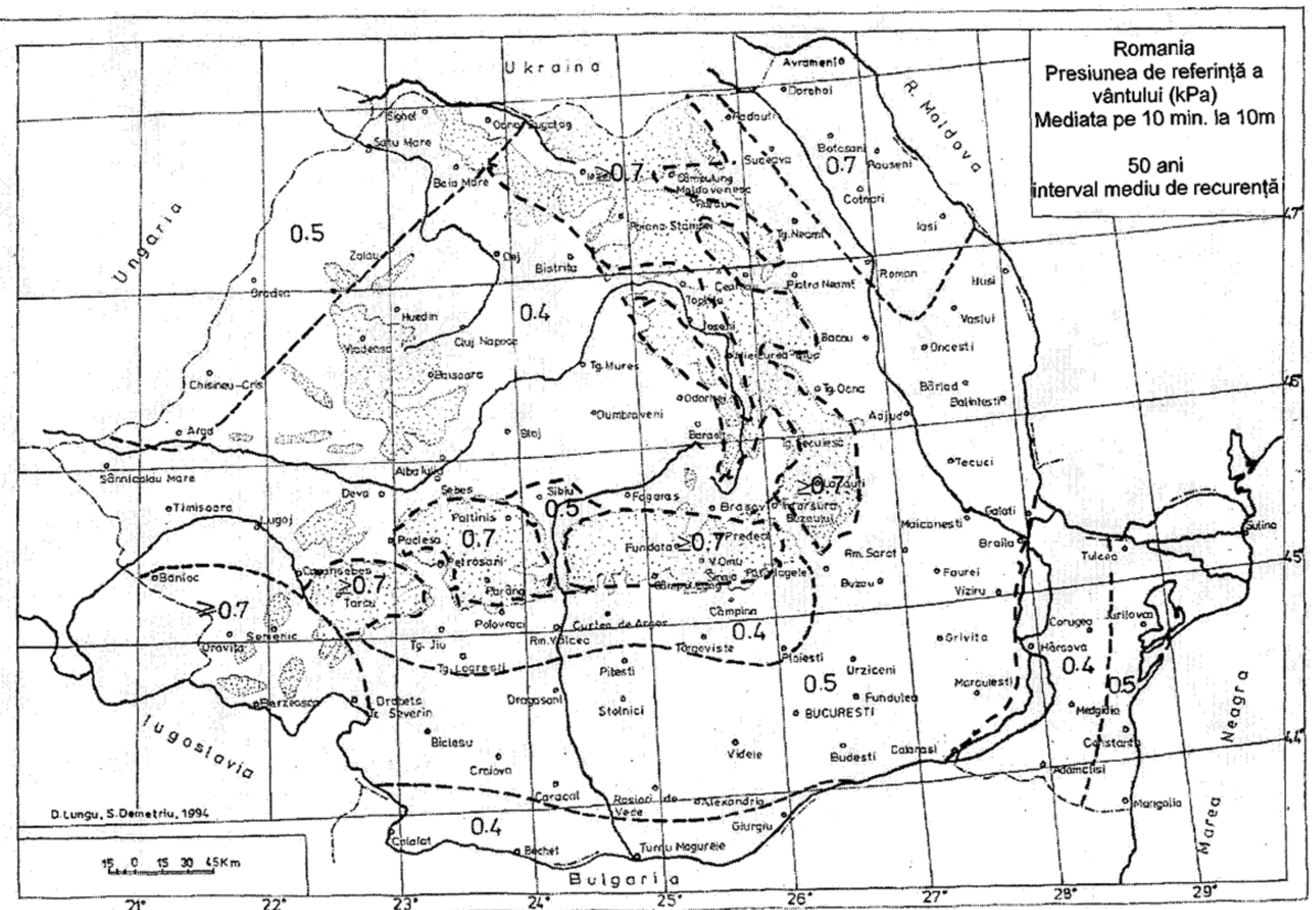


Fig. 3.16. Valorile presiunii de referință pe teritoriul României

b) Forța globală pe direcția vântului F_w, pe o arie de construcție de referință orientată perpendicular pe direcția vântului, se determină cu relația generală:

$$F_w = c_e(z).c_f.c_d.q_{ref}.A_{ref} \qquad (3.12)$$

unde: $c_e(z)$ – factorul de expunere la înălțimea „z" deasupra terenului (conform punctului anterior);

c_f – coeficientul aerodinamic de forță;

c_d – coeficientul de răspuns dinamic la vânt al construcției;

q_{ref} – presiunea de referință a vântului (conform punctului anterior) (daN/m^2 sau Pa);

A_{ref} – aria de construcție de referință, orientată perpendicular pe direcția vântului (m^2).

Coeficientul aerodinamic de forță „c_f" este precizat în codul acțiunii vântului, pentru: panouri publicitare; elemente structurale cu secțiuni rectangulare, cu secțiuni cu muchii ascuțite (profile metalice laminate), cu secțiuni poligonale regulate; cilindrii circulari; sfere; structuri cu zăbrele şi eşafodaje; steaguri. Principial, coeficientul aerodinamic se exprimă prin relații simple, funcție de un factor de zveltețe ψ_λ ce depinde de raportul între dimensiunile principale ale elementului calculat (lungime şi înălțime).

Coeficientul de răspuns dinamic „c_d" serveşte pentru evaluarea răspunsului de vârf (maxim) al structurilor şi se defineşte ca un factor ce amplifică presiunea vântului pe baza vitezei vântului ce ia în considerare factorul de rafală. În cadrul codului pentru acțiunea vântului este detaliată o metodă simplificată pentru calculul coeficientului dinamic c_d, pentru structuri paralelipipedice.

c) Forța de frecare din vânt se obține cu expresia:

$$F_{fr} = c_e(z).c_{fr}.q_{ref}.\ A_{fr} \qquad (3.13)$$

unde: c_{fr} – coeficient de frecare având valorile: 0.01 (suprafețe netede: oțel, beton); 0.02 (suprafețe rugoase: beton); 0.04 (suprafețe cu nervuri);

A_{fr} – aria de construcție verticală, orizontală etc., orientată paralel cu direcția vântului (m^2).

3.4.2.4. Acțiunea variațiilor de temperatură

Variațiile de temperatură ce se exercită asupra construcțiilor pot fi de natură climatică, datorită fluctuațiilor termice sezoniere sau zilnice, sau de natură tehnologică, datorită funcționării unor utilaje: cuptoare, camere frigorifice etc.

Datorită acestei acțiuni elementele de construcție tind să se dilate sau să se contracte. Dacă această tendință nu este împiedicată, deformarea fiind liberă, nu iau naştere eforturi. În schimb, dacă deformațiile sunt împiedicate datorită legăturilor elementului cu restul construcției sau datorită formei elementului, atunci iau naştere eforturi de compresiune, întindere, încovoiere sau alte tipuri de solicitări. Mario Salvadori dădea următorul exemplu:

„Să presupunem că un pod metalic de 90 m lungime a fost construit iarna la o temperatură de 2ºC. Într-o zi de vară, când temperatura aerului atinge 32ºC, podul se lungeşte, deoarece toate corpurile se dilată când sunt încălzite. Variația calculată a lungimii podului este de numai 3 cm. Desigur că este mică, doar a treia mia parte din lungimea podului, dar dacă podul este ancorat în culee care nu permit această dilatare termică, culeele vor exercita împingeri asupra podului pentru a-i reduce lungimea cu 3 cm. Din păcate, oțelul este atât de rigid încât forța de compresiune exercitată de culee consumă până la jumătate din capacitatea de rezistență a oțelului.”.

În Fig. 3.17 sunt reprezentate deformațiile unei porțiuni dintr-un perete din zidărie de cărămidă, datorită variațiilor termice sezoniere. În anotimpul rece (Fig. 3.17.b), perete se încovoaie spre interior datorită dilatărilor la suprafața interioară (unde valorile temperaturii sunt mai mari) şi datorită contracțiilor la suprafața exterioară (unde temperaturile sunt mici); în sezonul cald, temperatura exterioară fiind mai mare, încovoierea are loc spre exterior (Fig. 3.17.c). Deformațiile sunt mici şi nu creează probleme pentru stratul de rezistență al peretelui (zidăria), dar în anumite condiții pot influența defavorabil comportarea în timp a straturilor exterioare de finisaj.

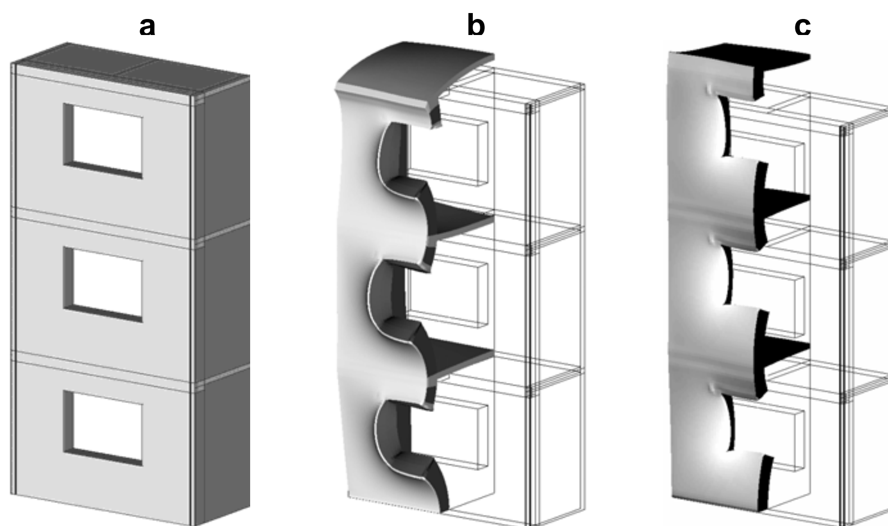


Fig. 3.17. Deformațiile unui perete din zidărie datorită variațiilor termice
a. structura nedeformată;
b. deformata în sezonul rece; **c.** deformata în sezonul cald
(scara deformațiilor este mult amplificată, pentru evidențierea formei geometrice)

În cazul cel mai simplu, al unei bare libere încălzite sau răcite uniform pe toate fețele, alungirea sau scurtarea se stabileşte cu relația:

$$\Delta\ell = \alpha.\ell.\Delta T \qquad (3.14)$$

unde α reprezintă coeficient de dilatare termică, ℓ este lungimea inițială a barei, iar ΔT diferența de temperatură.

Dacă bara este împiedicată să se deformeze va lua naştere o solicitare de compresiune (în cazul creşterii temperaturii) sau întindere (în cazul scăderii temperaturii). În ipoteza în care bara are o comportare elastică liniară, se poate scrie:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\sigma}{\frac{\Delta\ell}{\ell}} = \frac{\ell}{\Delta\ell}\sigma \quad \Rightarrow \quad \Delta\ell = \ell\frac{\sigma}{E} \tag{3.15}$$

unde: E – modulul de elasticitate al materialului (daN/cm^2);
σ – tensiunea normală de compresiune sau întindere (daN/cm^2);
ε – deformația relativă.

Membrii I din relațiile (3.14) şi (3.15) fiind identici, membrii II vor fi egali şi se obține:

$$\alpha.\ell.\Delta T = \ell\frac{\sigma}{E} \qquad \Rightarrow \qquad \boxed{\sigma = E.\alpha.\Delta T} \tag{3.16}$$

sau:

$$\sigma = \frac{N}{A} = E.\alpha.\Delta T \quad \Rightarrow \quad \boxed{N = E.A.\alpha.\Delta T} \tag{3.17}$$

în care A reprezintă aria secțiunii transversale a barei.

Dacă bara este încălzită asimetric, una dintre fețe fiind mai caldă decât fața opusă, ia naştere o solicitare de încovoiere, în mod analog cu solicitarea peretelui din Fig. 3.17. Cu ajutorul relației (3.16), valoarea momentului ce solicită în acest caz bara, se poate scrie:

$$M = \sigma_{max}.W = \sigma\frac{I}{d} = E.\alpha.\Delta T\frac{I}{d} \tag{3.18}$$

unde: W – modulul de rezistență al secțiunii barei (cm^3);

I – momentul de inerție al secțiunii barei (cm^4);

d – înălțimea secțiunii barei (grosimea) (cm).

Relațiile (3.16), (3.17) sau (3.18) permit determinarea tensiunii normale σ (de întindere sau de compresiune), a sarcinii axiale N sau a momentului M ce solicită bara supusă la variații termice. În cadrul acestor relații caracteristicile de material (E, α) şi cele geometrice (A, W, I, d) sunt cunoscute.

Diferențele de temperatură ΔT se determină, conform standardului pentru încărcări din variații de temperatură, cu ajutorul relațiilor simplificate:

$$\Delta T_+^n = T_+^n - T_{0-} \qquad \Delta T_-^n = T_-^n - T_{0+} \tag{3.19}$$

unde: T_+^n – temperatura exterioară normată maximă;

$T_+^n = +40$ °C (pentru construcții metalice neînglobate);

$T_+^n = +30$ °C (pentru construcții din beton, zidărie);

T_-^n – temperatura exterioară normată minimă;

$T_-^n = -30$ °C (pentru construcții metalice neînglobate);

$T_-^n = -20$ °C (pentru construcții din beton, zidărie);

T_{0+}, T_{0-} – temperaturile inițiale (pozitive sau negative) din faza terminării construcției.

În afară de aprecierea corectă prin calcul a acțiunii variațiilor de temperatură, sunt importante unele măsuri de ordin constructiv pentru evitarea valorilor exagerate ale acestei încărcări:

- prevederea rosturilor de dilatare, la distanțe care depind de tipul structurii de rezistență a clădirii, de natura materialelor utilizate etc.;

- prevederea izolațiilor termice sau a unor acoperiri protectoare dispuse pe suprafața elementelor expuse direct la variațiile de temperatură.

3.5. Acțiunea seismică

3.5.1. Generalități

Această acțiune are caracter excepțional, manifestându-se relativ rar şi cu o durată redusă, în general de ordinul secundelor sau zecilor de secunde, dar cu intensități deosebit de mari şi cu consecințe grave, uneori catastrofale (Fig. 3.18).

Scoarța terestră este formată din blocuri (Fig. 3.19) ce au tendința de a se mişca cu o viteză de câțiva centimetri pe an, de-a lungul unor linii de separație (suprafețe de ruptură) numite falii. Viteza de mişcare nu este constantă, deoarece plăcile se „obstrucționează” reciproc, limitându-şi temporar deplasările. Se ajunge astfel, uneori după perioade îndelungate ce pot fi de ordinul secolelor, la acumularea unor tensiuni care, atunci când se depăşesc rezistențele la forfecare ale rocilor, produc lunecarea bruscă a plăcilor, rezultatul fiind eliberarea bruscă a unei mari cantități de energie ce se transmite până la suprafața pământului, care este antrenată într-o mişcare rapidă de oscilație pe orizontală şi pe verticală.

Punctul de origine al undelor seismice, aflat în interiorul scoarței pământului la o anumită adâncime, în zona de lunecare a plăcilor, poartă numele de focar sau hipocentru (Fig. 3.20). Proiecția geometrică a acestei zone pe suprafața scoarței se numeşte epicentru. Intensitatea acțiunii seismice este maximă în această regiune, scăzând cu distanța dar nu în mod uniform pe toate direcțiile.

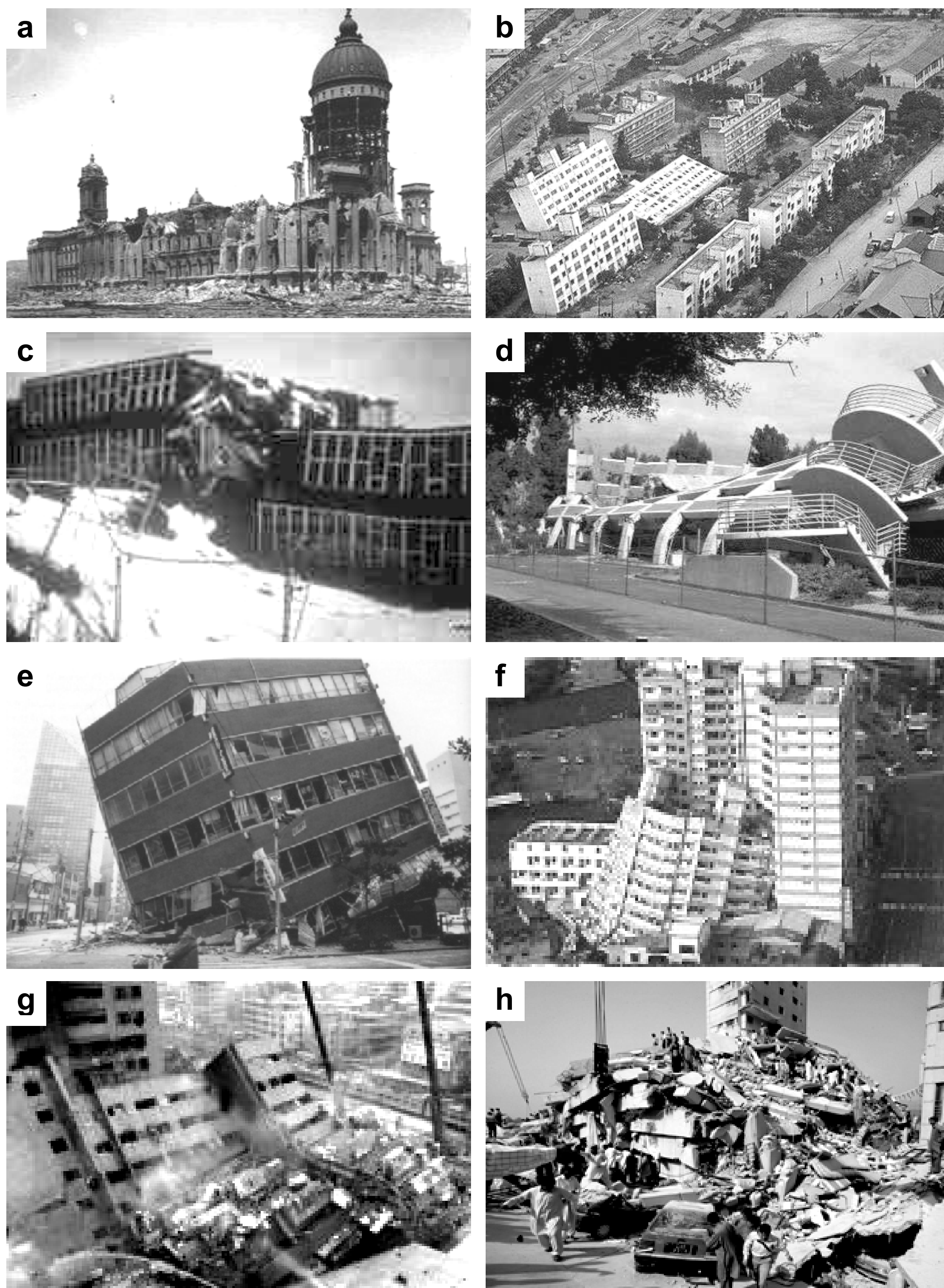


Fig. 3.18. Efectele acțiunii cutremurelor asupra clădirilor

a. San Francisco (SUA), 1906; **b.** Niigata (Japonia), 1964;
c. Ancorage (Canada), 1964; **d.** Northridge (SUA), 1994;
e. Kobe (Japonia), 1995; **f.g.** Taiwan, 1999; **h.** Pakistan, 2005

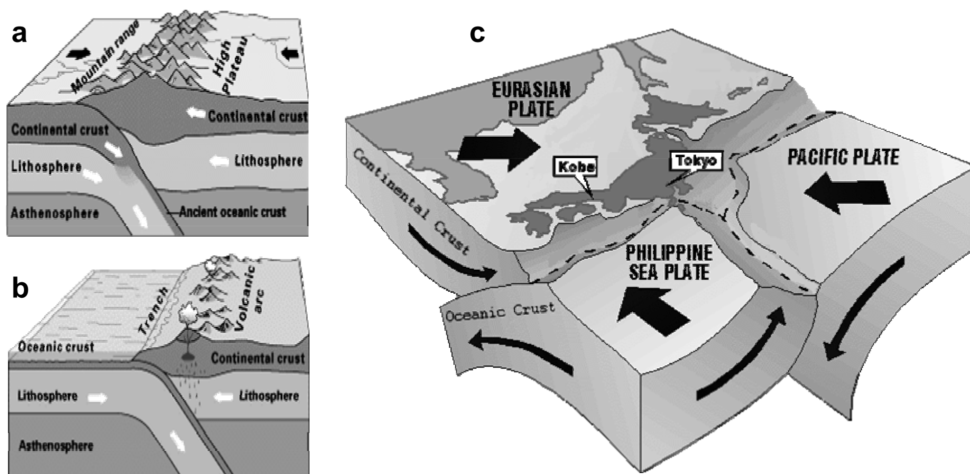


Fig. 3.19. Reprezentări schematice ale plăcilor tectonice şi faliilor
a. plăci tectonice continentale; **b.** placă tectonică continentală şi oceanică; **c.** plăcile tectonice de sub arhipelagul nipon

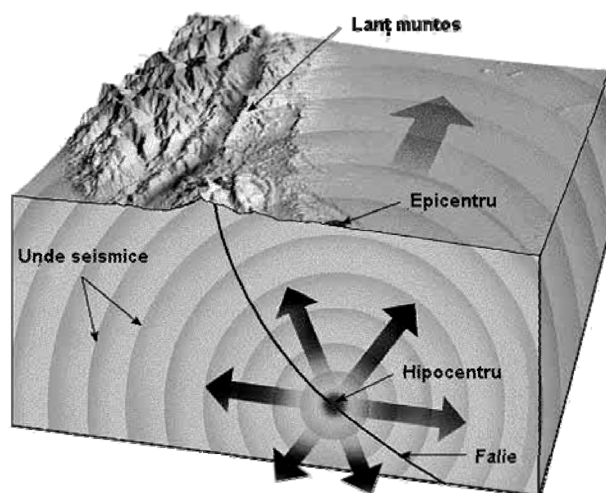


Fig. 3.20. Elementele caracteristice ale cutremurelor tectonice

Nu toată suprafața terestră este supusă cutremurelor, dar există două regiuni întinse de pe suprafața pământului unde se produc cele mai puternice seisme: una urmează o linie prin Mediterana, Asia Mică, Himalaia, India, Oceanul Indian, cealaltă urmăreşte coastele vestice, nordice şi estice ale Pacificului (Fig. 3.21).

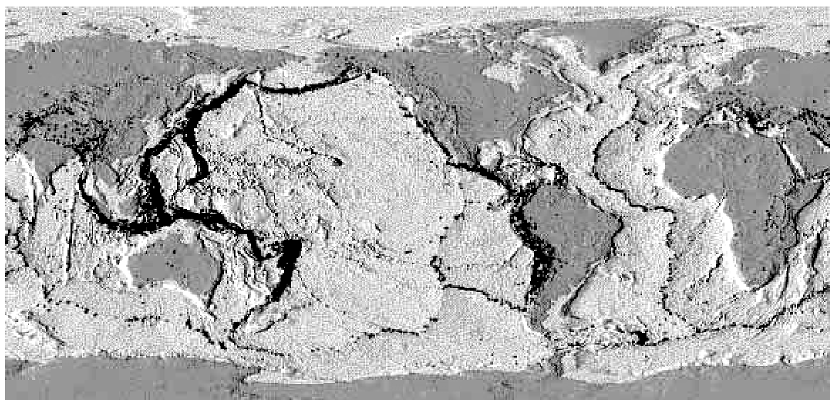


Fig. 3.21. Harta epicentrelor zonelor seismice importante

În țara noastră cutremurele îşi au originea (epicentrul) în câteva zone. Cea mai importantă este regiunea Vrancei, dar mai există astfel de zone în Banat, Crişana, Maramureş şi nordul Bucovinei. Există informații că în perioada ultimului mileniu au existat cel puțin 78 de cutremure puternice, cele mai importante fiind în anii 1230, 1471, 1516, 1590, 1620, 1738, 1802, 1940, 1977. Ultimul seism puternic, din 1977, a lăsat în urmă 1570 morți şi 11300 răniți (90% în Bucureşti), conducând la prăbuşirea a cca. 33 000 de locuințe (Fig. 3.22). Aceste cifre pot să pară modeste în comparație, de exemplu, cu cei 242 000 de morți de la cutremurul produs în China (la nord de Beijing) în 1968, dar urmările au fost catastrofale în ambele cazuri.



Fig. 3.22. Cutremurul din 4 martie 1977 – bloc de locuințe din Bucureşti

Cutremurelor pot fi de mai multe tipuri:

- tectonice, datorită deplasărilor bruşte ale plăcilor adiacente din scoarță;
- vulcanice, datorită activității vulcanilor;
- de prăbuşire, datorită surpării unor porțiuni din scoarță în goluri rezultate din dizolvarea sărurilor, din prăbuşirea unor mine etc.;
- din cauze diverse: explozii puternice, căderea unor meteoriți etc.

Pentru caracterizarea acțiunii cutremurelor se folosesc scările de intensitate seismică, cele mai cunoscute fiind:

- scara Mercalli având 12 grade, ce caracterizează acțiunea seismică în mod descriptiv pentru fiecare grad seismic, prin efectele asupra oamenilor, construcțiilor, terenului etc. (apreciere subiectivă);
- scara Richter cu 8 grade de magnitudine, ce se referă la energia de deformație eliberată prin ruptura faliei, calculată funcție de amplitudinea mişcării seismice, înregistrată pe seismografe de un

anumit tip (apreciere obiectivă); gradul 8 pe scara Richter nu trebuie privit ca un maxim absolut, fiind de remarcat faptul că au existat cutremure extrem de puternice, cum a fost cel din 1964 în Anchorage (Canada) având gradul 8.5, sau din 1960 în Chile, de gradul 9.

Datorită undelor seismice terenul suferă mişcări orizontale şi verticale rapide. În general acțiunea orizontală este cea mai periculoasă. Forțele verticale au de regulă valori mai mici şi sunt mai bine preluate de către construcții, care oricum sunt dimensionate pentru a rezista la încărcări verticale, în special gravitaționale.

Atunci când terenul de fundare începe să oscileze, construcțiile au tendința firească de a se opune acestor mişcări, datorită masei lor apreciabile. Drept rezultat apar solicitări ale clădirii, similare efectelor unor forțe suplimentare. Fenomenul este oarecum similar cu ceea ce se întâmplă atunci când stăm în picioare într-un vehicul, fără a ne sprijini: în cazul unei porniri bruşte există tendința de răsturnare spre partea din spate a vehiculului (se păstrează starea inițială, de repaus), iar în cazul unei frânări apare tendința de a veni în față (se păstrează starea de mişcare). Cu alte cuvinte, datorită variațiilor vitezei de deplasare a suportului, apar forțe ce tind să ne încovoaie sau să ne răstoarne pe direcția mişcării, într-un sens sau altul.

Forțele seismice ce acționează asupra unei construcții iau naştere în acelaşi fel, iar mărimea lor este proporțională cu masa construcției „m" şi cu accelerația „a" imprimată clădirii de mişcarea seismică, fiind prin urmare forțe de inerție ce au, în principiu, expresia generală de forma:

$$S = m.a = \frac{G}{g}a = \frac{a}{g}G = c\,G \qquad (3.20)$$

Relația (3.20) ia în considerare gradul seismic al zonei de amplasament, prin valoarea accelerația, şi masa (sau greutatea) construcției, dar nu ține de cont de o serie de particularități importante ce influențează efectul seismului asupra clădirii, fiind prin urmare o relație grosieră ce conduce la rezultate cu un grad ridicat de aproximare.

3.5.2. Evaluarea sarcinii seismice orizontale

În afară de intensitatea cutremurului şi de masa construcției, răspunsul acesteia la seism depinde de proprietățile elastice şi dinamice ale structurii (modurile proprii de vibrație, capacitatea de amortizare a oscilațiilor, distribuția maselor şi rigidităților) precum şi de proprietățile terenului de fundare. Toți aceşti factori fac dificilă o tratare teoretică riguroasă pentru stabilirea prin calcul a sarcinii seismice, fiind necesar a se ține seama de experiența proiectării confirmată de practică.

Există două noțiuni de bază utilizate în dinamica construcțiilor.

- Grad de libertate dinamică

  În cadrul problemelor de dinamică a structurilor, problema cea mai importantă constă în a defini poziția (deformata) acestora în orice moment al mişcării, deoarece pe această bază se pot calcula în continuare tensiunile ce iau naştere în orice punct al structurii. Dacă la un anumit moment poziția structurii poate fi definită printr-un singur parametru (coordonată) se spune că structura are un singur grad de libertate, aşa cum se întâmplă de exemplu în cazul unui pendul clasic. Prin generalizare, numărul gradelor de libertate dinamică al unui sistem oscilant este egal cu numărul minim de coordonate independente ce definesc complet poziția sistemului la un moment dat.

- Mod de vibrație

  Datorită mişcărilor induse construcțiilor de către deplasările terenului, acestea încep să vibreze. Vibrațiile pot avea diverse forme (configurații) geometrice, şi fiecăreia dintre ele îi corespunde o anumită perioadă de oscilație (sau frecvență). Prin mod de vibrație se înțelege ansamblul format dintr-o formă de oscilație şi perioada proprie (sau frecvența proprie) de oscilație. Aceste moduri depind de caracteristicile sistemului oscilant, adică de structura clădirii. Numărul modurilor de vibrație este egal cu numărul gradelor de libertate dinamică ale sistemului oscilant.

Noțiunile de mai sus sunt exemplificate în Fig. 3.23 prin modelul simplificat al unui cadru plan cu 3 niveluri, asimilat cu o consolă verticală cu masele fiecărui nivel concentrate în dreptul planşeelor. Rezultă o structură cu 3 grade de libertate dinamică şi, în consecință, cu 3 moduri de vibrație.

În Fig. 3.24 sunt reprezentate primele patru moduri de vibrație ale unui cadru plan din beton, cu 8 niveluri. Fig. 3.25 prezintă cazul mai complex al unui cadru spațial, de asemeni cu 8 niveluri, la care sunt puse în evidență modurile de vibrație după ambele direcții.

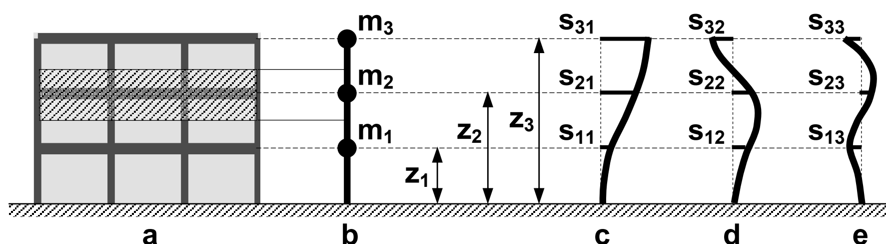


Fig. 3.23. Modelul mecanic simplificat al unui cadru plan
a. cadru plan cu 3 niveluri; **b.** consolă verticală cu 3 grade de libertate dinamică; **c.d.e.** modurile de vibrație 1, 2, 3

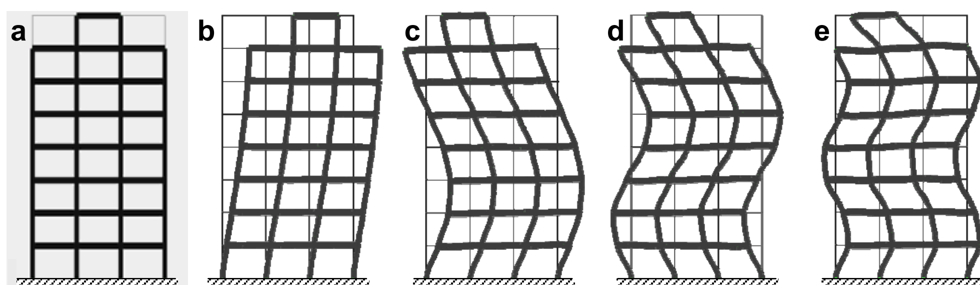


Fig. 3.24. Moduri de vibrație pentru un cadru plan
a. structura nedeformată; **b.c.d.e.** modurile de vibrație 1, 2, 3, 4

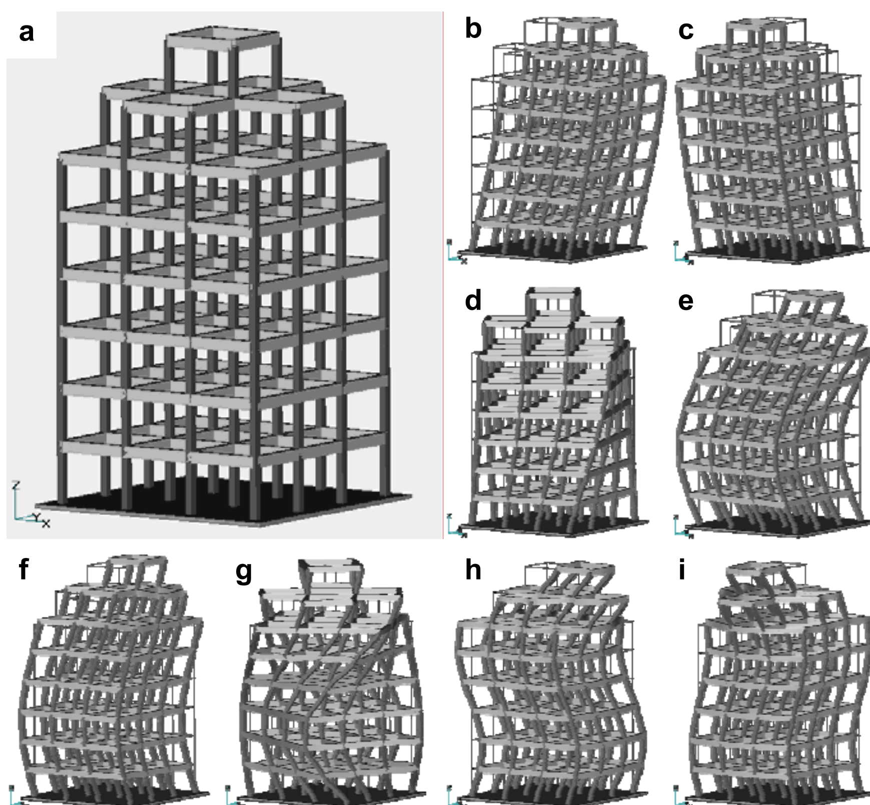


Fig. 3.25. Moduri de vibrație pentru un cadru spațial
a. structura nedeformată; **b.** modul 1 (direcția Ox); **c.** modul 2 (direcția Oy); **d.** modul 3 (torsiune simplă); **e.** modul 4 (direcția Ox); **f.** modul 5 (direcția Oy); **g.** modul 6 (torsiune complexă); **h.** modul 7 (direcția Ox); **i.** modul 8 (direcția Oy)

3.5.2.1. Metoda forțelor seismice statice echivalente

Această metodă se poate aplica la construcțiile care pot fi calculate prin considerarea a două modele plane pe direcții ortogonale, a căror răspuns seismic total nu este influențat semnificativ de modurile proprii superioare de vibrații. În acest caz, modul propriu fundamental de translație (modul 1 de vibrație) are contribuția predominantă în răspunsul seismic total.

În această categorie intră clădirile a căror perioadă fundamentală (perioada modului fundamental) corespunzătoare direcțiilor principale îndeplineşte condiția: $T \leq 1{,}6$ s. De asemeni, aceste construcții trebuie să aibă formă regulată în plan, să prezinte o distribuție a maselor şi a rigidităților cât mai uniformă, iar planşeele să aibă rigiditate suficient de mare în planul lor (să constituie şaibe rigide).

Forța seismică totală, numită forță tăietoare de bază, corespunzătoare modului propriu fundamental, pentru fiecare direcție orizontală principală, se determină cu relația:

$$F_b = \gamma_\ell . S_d(T_1).m.\lambda \qquad (3.21)$$

unde: γ_ℓ – factorul de importanță-expunere al construcției;

$S_d(T_1)$ – ordonata spectrului de răspuns de proiectare pentru accelerații, corespunzătoare perioadei fundamentale T_1 pe direcția considerată;

m – masa totală a clădirii, calculată ca sumă a maselor de nivel m_i;

λ – factor de corecție care ține seama de contribuția modului propriu fundamental prin masa modală efectivă asociată acestuia:

$\lambda = 0{,}85$ dacă $T_1 \leq T_C$ şi clădirea are mai mult de două niveluri;

$\lambda = 1{,}0$ în celelalte cazuri.

Factorul de importanţă-expunere γ_ℓ este o mărime convenţională care depinde de clasa de importanţă a clădirii, apreciată în funcţie de: consecinţele prăbuşirii asupra vieţilor omeneşti, utilitatea construcţiei pentru siguranţa publică şi protecţia civilă în perioada imediată după cutremur, consecinţele sociale şi economice ale prăbuşirii sau avarierii grave. În normativul de calcul seismic sunt definite 4 clase de importanţă I, II, III şi IV, pentru care γ_ℓ = 1.4, 1.2, 1.0 şi respectiv 0,8.

Spectrul seismic de răspuns al acceleraţiilor este reprezentarea grafică a valorilor maxime ale acceleraţiilor unui sistem oscilant cu un singur grad de libertate dinamică, pentru un cutremur dat, în funcţie de perioada proprie şi de gradul de amortizare al sistemului. Spectrele seismice se determină pe baza accelerogramelor furnizate de laboratoarele seismice specializate.

Accelerogramele reprezintă graficele de variaţia ale valorilor acceleraţiei terenului în timp, pe o anumită direcţie, pentru un anumit cutremur. În Fig. 3.26 este redată o accelerogramă tipică, corespunzătoare componentei N–S a cutremurului de la El Centro (California) din 1940.

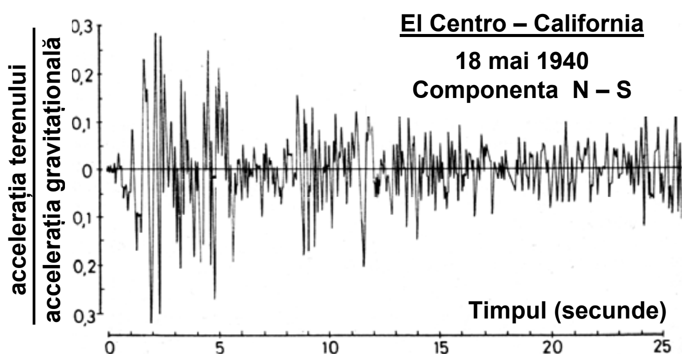


Fig. 3.26. Accelerograma cutremului de la El Centro
(acceleraţia terenului este raportată la acceleraţia gravitaţională)

În calcule se utilizează media spectrelor celor două componente (pe direcțiile N – S şi V – E) corespunzătoare înregistrărilor şocurilor seismice, numite spectre standard sau spectre de proiectare (Fig. 3.27.a). O reprezentare mai convenabilă a spectrului de accelerații se obține prin raportarea (împărțirea) ordonatelor graficului acestuia la accelerația maximă a terenului. Se obțin astfel aşa numitele spectre normalizate de răspuns elastic ale accelerației terenului, notate cu β(T), ce sunt prezentate în codurile de calcul seismic în mod simplificat, cu ajutorul a trei perioade caracteristice T_B, T_C şi T_D, numite perioade de control sau perioade de colț, deoarece definesc punctele unghiulare dintre cele patru segmente ale graficului simplificat (Fig. 3.27.b).

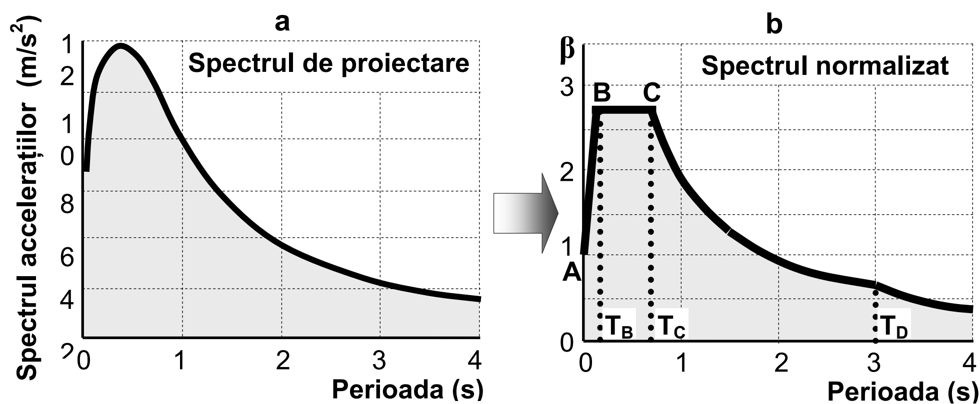


Fig. 3.27. Spectrul de proiectare şi spectrul normalizat al accelerațiilor

Spectrul de proiectare pentru accelerații $S_d(T_1)$ este un spectru inelastic, întrucât ia în considerare rezervele de capacitate portantă ale structurii clădirii prin disiparea energiei când deformațiile efective depăşesc limita elastică, structura lucrând parțial în domeniul plastic.

Spectrul $S_d(T_1)$ determină cu relațiile:

$$S_d(T_1) = a_g \left[1 + \frac{T_1}{T_B} \cdot \left(\frac{\beta_o}{q} - 1 \right) \right] \quad \text{pentru} \quad 0 < T_1 \le T_B \qquad (3.22)$$

$$S_d(T_1) = a_g \frac{\beta(T_1)}{q} \quad \text{pentru} \quad T_1 > T_B \qquad (3.23)$$

unde: a_g – accelerația terenului pentru proiectare;

$\beta(T)$ – spectrul normalizat de răspuns pentru componenta orizontală a accelerației terenului;

β_o – factorul de amplificare dinamică maximă a accelerației orizontale a terenului de către structură;

q – factorul de comportare;

T_1 – perioada fundamentală;

T_B – perioada de control (de colț).

Accelerația terenului pentru proiectare a_g reprezintă valoarea de vârf a accelerației orizontale a terenului, corespunzătoare unui interval mediu de recurență al magnitudinii IMR = 100 ani**.** Zonarea accelerației terenului pentru proiectare în România este indicată în Fig. 3.28 şi se foloseşte pentru proiectarea construcțiilor la starea limită ultimă.

Spectrul normalizat de răspuns elastic pentru componenta orizontală a accelerației terenului $\beta(T)$, obținut prin împărțirea ordonatelor spectrului de răspuns elastic la accelerația terenului pentru proiectare a_g, este reprezentat grafic pentru fracțiunea de amortizare critică $\xi = 0.05$ şi în funcție de condițiile seismice şi de teren din România (luate în considerare prin perioadele de control T_B, T_C şi T_D) în Fig. 3.29, 3.30 şi 3.31.

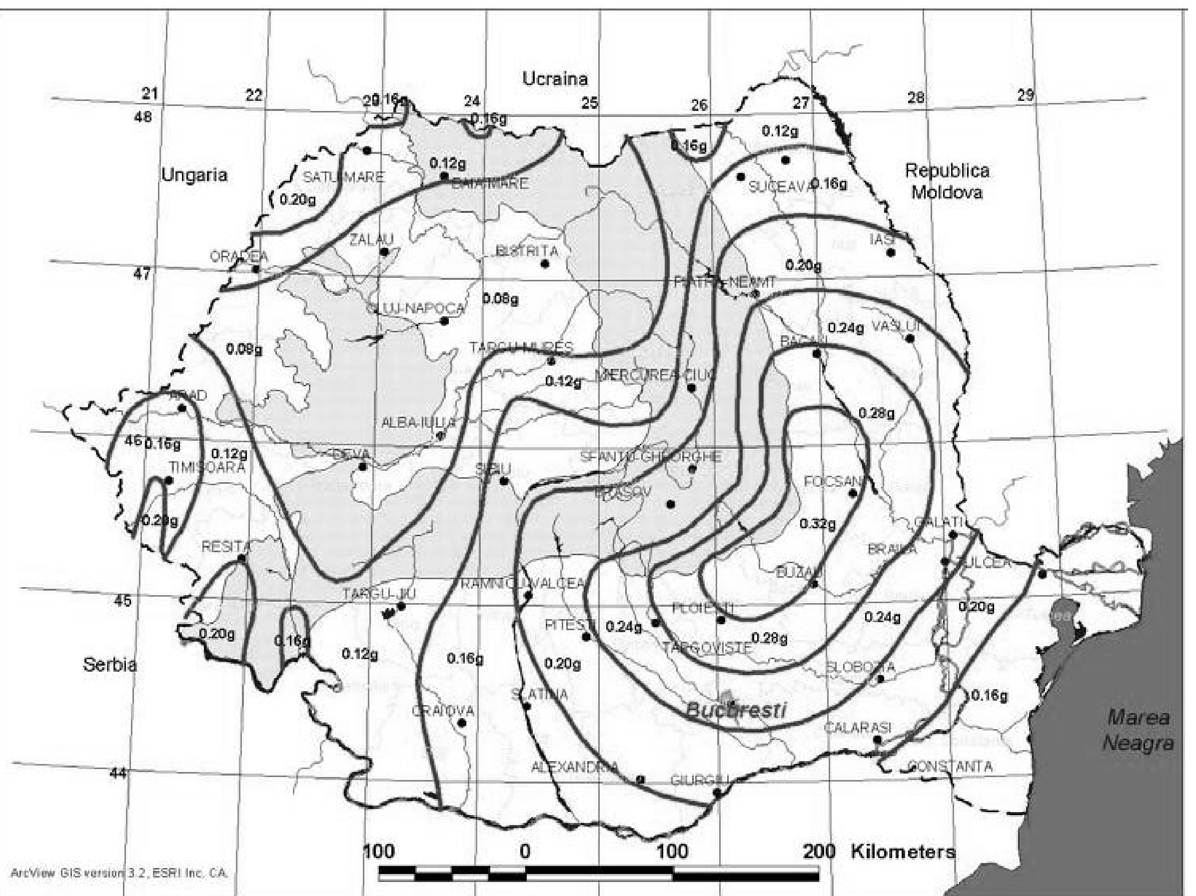


Fig. 3.28. Zonarea teritoriului României corespunzătoare accelerației terenului pentru proiectare

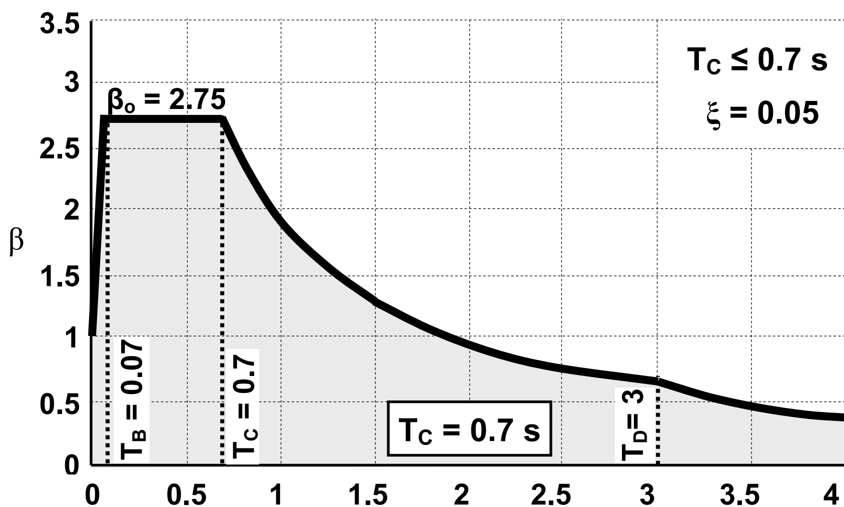


Fig. 3.29. Spectrul normalizat de răspuns elastic corespunzător T_c = 0.7 s

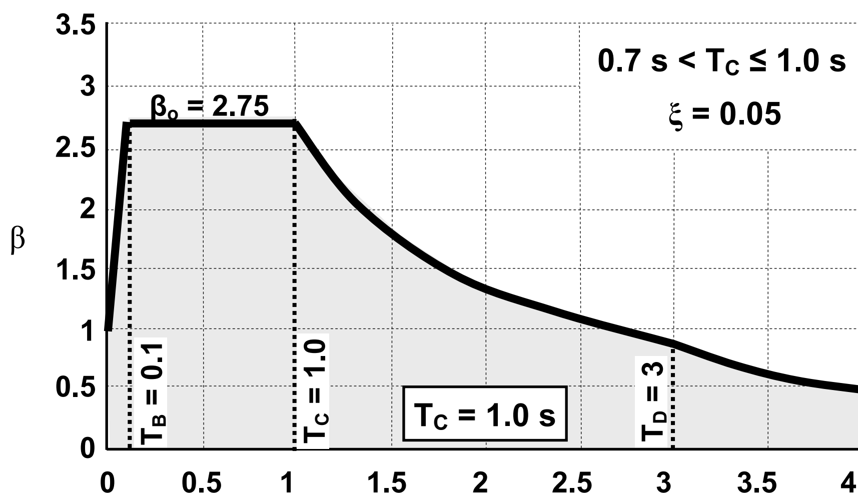


Fig. 3.30. Spectrul normalizat de răspuns elastic corespunzător T_c = 1.0 s

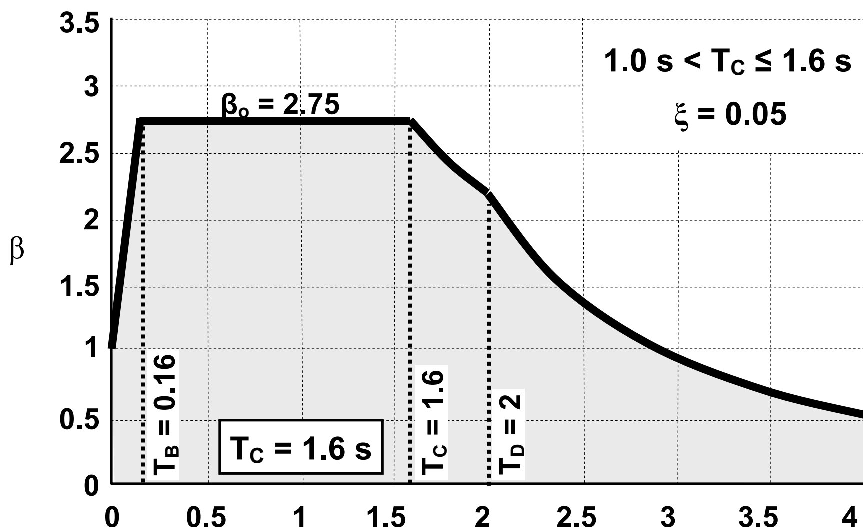


Fig. 3.31. Spectrul normalizat de răspuns elastic corespunzător T_c = 1.6 s

Relațiile de calcul pentru spectrul normalizat de răspuns elastic, cu ajutorul cărora s-au trasat şi graficele aferente, sunt:

$$\beta(T) = 1 + \frac{T}{T_B}(\beta_o - 1) \quad (T \le T_B); \qquad \beta(T) = \beta_o \quad (T_B < T \le T_C)$$

$$\beta(T) = \beta_o \frac{T_C}{T} \quad (T_C < T \le T_D); \qquad \beta(T) = \beta_o \frac{T_C . T_D}{T^2} \quad (T > T_D) \tag{3.24}$$

Factorul de amplificare dinamică maximă a accelerației orizontale a terenului reprezintă valoarea maximă a spectrului normalizat pentru accelerații, şi în mod uzual are valoarea β_o = 2.75 (Fig. 3.29, 3.30, 3.31).

Factorul de comportare q ia în considerare comportarea inelastică a structurii, în funcție de materialele folosite (beton, metal, lemn, zidărie etc.) şi de capacitatea structurii de disipare a energiei, atunci când aceasta depăşeşte limita de comportare elastică, lucrând parțial în domeniul plastic.

Valorile factorului de comportare sunt indicate în capitolele codului de calcul seismic, în cadrul mai multor tabele, pentru diferite tipuri de materiale şi de sisteme structurale.

Forța seismică orizontală totală F_b se distribuie pe nivelurile clădirii, pentru fiecare din cele două modele plane de calcul. Forța seismică ce acționează la nivelul „i" al construcției se calculează cu relația:

$$F_i = F_b \frac{m_i . s_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i . s_i} \cong F_b \frac{m_i . z_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i . z_i} \qquad (3.25)$$

unde: F_i – forța seismică orizontală static echivalentă de la nivelul „i";

F_b – forța tăietoare de bază corespunzătoare modului fundamental, determinată cu relația (3.21), reprezentând rezultanta forțelor seismice orizontale;

s_i – componenta modului fundamental de vibrație, pe direcția gradului de libertate dinamică de translație, la nivelul „i" (conform Fig. 3.23.c);

m_i – masa de nivel (conform Fig. 3.23.b);

z_i – înălțimea nivelului „i" în raport cu baza construcției.

Ultimul membru din relația (3.25) reprezintă o simplificare pentru uşurarea calculelor şi se poate utiliza atunci când forma proprie fundamentală poate fi aproximată printr-o variație liniară crescătoare pe înălțime.

Forțele seismice orizontale determinate cu relația (3.25) se aplică sistemelor structurale ca forțe laterale la nivelul fiecărui planşeu, considerat indeformabil în planul său.

3.5.2.2. Metoda de calcul modal cu spectre de răspuns

Această metodă de calcul se aplică clădirilor care nu îndeplinesc condițiile specificate pentru utilizarea metodei simplificate cu forțe statice echivalente, prezentată la punctul anterior. În acest caz calculele se pot efectua:

- prin folosirea a două modele plane, câte unul pe fiecare direcție principală, dacă sunt îndeplinite criteriile de regularitate ale structurii, în plan şi pe verticală;
- prin utilizarea unui model spațial, la care acțiunea seismică se va aplica pe direcțiile principale ortogonale (uzual direcția transversală şi longitudinală a clădirii) şi pe direcțiile orizontale relevante (de exemplu, la structurile în cadre, pe direcții la 45° în raport cu direcțiile principale ortogonale).

Forța tăietoare de bază aplicată pe direcția de acțiune a mişcării seismice în modul propriu de vibrație „k" este:

$$F_{b,k} = \gamma_{\ell} . S_d(T_k) . m_k \qquad (3.26)$$

unde: γ_{ℓ} – factorul de importanță-expunere al construcției;

$S_d(T_k)$ – ordonata spectrului de răspuns de proiectare pentru accelerații, corespunzătoare perioadei în modul de vibrație „k" (T_k), pe direcția considerată;

m_k – masa modală efectivă asociată modului de vibrație „k" (reprezintă masa unui sistem oscilant echivalent, cu un singur grad de libertate dinamică, pe baza căruia se determină spectrul de accelerații; sistemul are perioada proprie egală cu perioada T_k a sistemului real în modul „k");

$$m_k = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} m_i . s_{i,k}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n} m_i . s_{i,k}^2} \tag{3.27}$$

m_i – masa de nivel (conform Fig. 3.23.b);

$s_{i,k}$ – componenta pe direcția gradului de libertate dinamică de translație la nivelul „i" în modul de vibrație „k" (conform Fig. 3.23.c,d,e).

Răspunsurile clădirii pentru modurile de vibrație luate în considerare trebuie combinate, existând mai multe procedee în acest sens. Deoarece modurile de vibrație nu apar simultan, cea mai utilizată dintre metodologiile de suprapunere a răspunsurilor modale presupune combinarea probabilistică prin metoda SRSS (radical din suma pătratelor răspunsurilor modale), conform relației:

$$E_E = \sqrt{\sum_{k=1}^{r} E_{E,k}^2} \tag{3.28}$$

unde: E_E – efectul acțiunii seismice (efort secțional, deplasare);

$E_{E,k}$ – efectul acțiunii seismice în modul „k" de vibrație;

r – numărul modurilor de vibrație luate în calcul.

3.5.3. Principii de conformare antiseismică

Prin conformare antiseismică se înțelege un ansamblu de măsuri constructive ce asigură comportarea favorabilă a clădirilor în raport cu acțiunea seismică.

Cele mai importante principii de conformare antiseismică sunt:

- amplasarea construcției pe terenuri nefavorabile trebuie evitată sau, dacă acest lucru nu este posibil, se vor lua în prealabil măsuri de consolidare a terenului;
- adoptarea unor soluții cu greutate proprie minimă (raportul dintre greutatea proprie şi suprafața construită desfăşurată nu trebuie să depăşească 1100...1300 daN/m^2);
- adoptarea unor forme simetrice din punct de vedere al volumelor, maselor şi rigidităților, pentru evitarea solicitărilor de torsiune;
- dacă cerințele de ordin funcțional impun soluții cu forme neregulate, se vor prevedea rosturi antiseismice, care împart clădirea în tronsoane independente, cu forme regulate şi comportare favorabilă la cutremur;
- elementele structurale verticale, longitudinale şi transversale, trebuie să prezinte pe cât posibil o continuitate perfectă, fără excentricități la intersecții;
- dispunerea judicioasă, uniformă, a elementelor de rezistență pe cuprinsul clădirii;
- elementele nestructurale (pereți neportanți, învelitori etc.) trebuie să fie bine ancorate de structura de rezistență.

3.6. Gruparea încărcărilor

Diferitele tipuri de încărcări pot solicita o construcție simultan sau alternativ. Pentru a ține cont de posibilitatea apariției simultane a mai multor acțiuni, codul românesc de proiectare prevede o serie de reguli pentru gruparea acestora, funcție de starea limită luată în considerare.

Prin stare limită se înțelege starea în afara căreia structura nu mai satisface criteriile (cerințele) adoptate în cadrul procesului de concepție/proiectare. Există două categorii de stări limită: stări limită ultime şi stări limită de serviciu.

Stările limită ce implică protecția vieții oamenilor şi a siguranței structurii sunt clasificate ca stări limită ultime. De asemeni, stările limită ce implică protecția unor bunuri de valoare deosebită trebuie clasificate ca stări limită ultime. Toate aceste stări sunt asociate cu prăbuşirea sau cu forme similare de cedare structurală.

Stările limită ce iau în considerare funcționarea structurii sau a elementelor structurale în condiții normale de exploatare, confortul utilizatorilor construcției şi limitarea vibrațiilor, deplasărilor şi deformațiilor structurii sunt clasificate ca stări limită de serviciu. Dincolo de aceste stări, cerințele necesare pentru utilizarea normală a construcției/structurii nu mai sunt îndeplinite.

3.6.1. Gruparea încărcărilor în cazul stărilor limită ultime

În acest caz se foloseşte următoarea grupare (combinație):

$$1{,}35\sum_{i=1}^{n} G_{k,i} + 1{,}5\,Q_{k,1} + 1{,}5\sum_{j=2}^{m} \psi_{0,j}\,Q_{k,j} \qquad (3.29)$$

unde: $G_{k,i}$ – efectul pe structură al acțiunii permanente „i”, luată cu valoarea sa caracteristică;

$Q_{k,1}$ – efectul pe structură al acțiunii variabile ce are ponderea predominantă, luată cu valoarea sa caracteristică;

$Q_{k,j}$ – efectul pe structură al acțiunii variabile „j”, luată cu valoarea sa caracteristică;

$\psi_{0,j}$ – factor de simultaneitate al efectelor pe structură al acțiunilor variabile „j”, luate cu valorile lor caracteristice; $\psi_{0,j} = 0.7$, cu excepția încărcărilor din depozite şi a acțiunilor provenite din împingerea pământului, a materialelor pulverulente sau a fluidelor, pentru care $\psi_{0,j} = 1.0$.

Prin efecte ale acțiunilor pe structură se înțeleg eforturile secționale sau eforturile unitare (tensiunile) din elementele structurale, precum şi deplasările sau rotațiile pentru elementele structurale şi structura în ansamblu.

În cazul acțiunii seismice se utilizează gruparea:

$$\sum_{i=1}^{n} G_{k,i} + \gamma_I A_{E,k} + \sum_{j=1}^{m} \psi_{2,j} Q_{k,j} \qquad (3.30)$$

unde: $G_{k,i}$ – efectul pe structură al acțiunii permanente „i”, luată cu valoarea sa caracteristică;

γ_I – coeficient de importanță al construcției/structurii, în funcție de clasa de importanță a construcției (Tabelul 3.4);

$A_{E,k}$ – efectul pe structură al acțiunii seismice ce corespunde intervalului mediu de recurență IMR = 100 ani, luată cu valoarea caracteristică;

$\psi_{2,j}$ – coeficient pentru determinarea valorii cvasipermanente a acțiunilor variabile $Q_{k,j}$ (Tabelul 3.5);

$Q_{k,j}$ – efectul pe structură al acțiunii variabile „j”, luată cu valoarea sa caracteristică.

Produsul $\psi_{2,j}Q_{k,j}$ reprezintă valoarea cvasipermanentă a încărcării, utilizată în cazul stărilor limită ultime ce implică acțiuni accidentale.

Tabel 3.4 Coeficientul de importanță al construcției

Clasa de importanță a construcției/structurii	Tipul funcțiunii construcției/structurii	γ_I
1	Clădiri şi structuri esențiale pentru societate[1]	1,4
2	Clădiri şi structuri ce pot provoca în caz de avariere un pericol major pentru viața oamenilor[2]	1,2
3	Toate celelalte construcții şi structuri, cu excepția celor din clasele 1, 2 şi 4	1,0
4	Clădiri şi structuri temporare[3]	0,8

[1]) spitale şi instituții medicale importante; stații de pompieri şi poliție; centre de comunicații; stații de producere şi distribuire a energiei; rezervoare de apă etc.

[2]) spitale şi instituții medicale cu o capacitate peste 50 persoane; instituții de învățământ cu peste 150 persoane; clădiri din patrimoniul cultural etc.

[3]) clădiri temporare, clădiri agricole, clădiri pentru depozitare etc.

Tabel 3.5 Coeficient pt. determinarea valorii cvasipermanente a acțiunii variabile

Tipul acțiunii	$\psi_{2,j}$
Acțiuni din vânt. Acțiuni din variații de temperatură	0,0
Acțiuni din zăpadă. Acțiuni datorate exploatării	0,4
Încărcări în depozite	0,8

3.6.2. Gruparea încărcărilor în cazul stărilor limită de serviciu

În acest caz există trei categorii de grupări:

a) Gruparea caracteristică de efecte structurale ale acțiunii

$$\sum_{i=1}^{n} G_{k,i} + Q_{k,1} + \sum_{j=2}^{m} \psi_{0,j} Q_{k,j} \qquad (3.31)$$

b) Gruparea frecventă de efecte structurale ale acțiunii

$$\sum_{i=1}^{n} G_{k,i} + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{j=2}^{m} \psi_{2,j} Q_{k,j} \qquad (3.32)$$

unde: $\psi_{1,1}$ – coeficient pentru determinarea valorii frecvente a acțiunii variabile $Q_{k,1}$ (Tabelul 3.6).

Valoarea frecventă este reprezentată de produsul $\psi_{1,1} Q_{k,1}$ şi este apropiată de o valoare centrală a repartiției statistice a valorii acțiunii.

Tabel 3.6 Coeficient pt. determinarea valorii frecvente a acțiunii variabile

Tipul acțiunii	$\boldsymbol{\psi_{1,1}}$
Acțiuni din vânt	0,2
Acțiuni din zăpadă. Acțiuni din variații de temperatură	0,5
Acțiuni datorate exploatării, cu valoarea $\leq$ 3 kN/m^2	
Acțiuni datorate exploatării, cu valoarea $>$ 3 kN/m^2	0,7
Încărcări în depozite	0,9

c) Gruparea cvasipermanentă de efecte structurale ale acțiunii

$$\sum_{i=1}^{n} G_{k,i} + \sum_{j=1}^{m} \psi_{2,j} Q_{k,j} \qquad (3.33.a)$$

$$\sum_{i=1}^{n} G_{k,i} + 0{,}6\gamma_I A_{E,k} + \sum_{j=1}^{m} \psi_{2,j} Q_{k,j} \qquad (3.33.b)$$

Valoarea cvasipermanentă este reprezentată de produsul $\psi_{2,j}Q_{k,j}$ şi este folosită pentru stări limită de serviciu reversibile. Valorile cvasipermanente sunt utilizate şi pentru calculul efectelor pe termen lung.

Relația (3.33.a) este utilizată pentru considerarea în proiectare a efectelor de lungă durată ale acțiunilor asupra structurii. Relația (3.33.b) este folosită pentru verificarea la starea limită de serviciu a elementelor structurale, nestructurale, echipamentelor etc., atunci când acțiunea seismică trebuie considerată în gruparea de serviciu.

În relațiile (3.29)...(3.33) semnul „+” nu trebuie considerat în sensul unei sumări algebrice. Semnificația semnului „+” este aceea că acțiunile respective se consideră simultan în calculele de proiectare.

Capitolul 4
Elemente de mecanica zidăriilor

4.1. Generalități

Zidăria este un material de construcție neomogen, alcătuit din elemente rigide numite blocuri şi materiale sau elemente de legătură, rezultând astfel un ansamblu de sine stătător, capabil să reziste la solicitări de ordin fizic şi mecanic. Blocurile pot fi din piatră naturală, piatră artificială arsă (cărămizi, blocuri ceramice) sau piatră artificială nearsă (beton, argilă etc.), iar materialele de legătură sunt mortarele de diferite tipuri, agrafele metalice, adezivii sintetici etc.

Răspândirea zidăriilor ca material de construcție se datorează următoarelor avantaje:

a. are o bună rezistență la acțiunea factorilor atmosferici şi corosivi;

b. are o comportare avantajoasă la variații de temperatură şi de umiditate;

c. se realizează din materiale locale (piatră, cărămidă, nisip, var etc.);

d. prezintă proprietăți satisfăcătoare sub aspectul capacității de izolare termică şi acustică;

e. se poate adapta la forme variate în plan, prezentând totodată posibilități largi de a fi tratată arhitectural;

f. se execută relativ simplu, folosind mână de lucru cu calificare mijlocie.

Zidăriile prezintă şi anumite dezavantaje, cum ar fi:

a. au greutate proprie mare şi rezistențe mecanice reduse, ceea ce conduce la realizarea unor elemente masive, comparativ cu cele realizate din oțel, beton sau lemn;

b. adeziunea redusă a mortarului cu pietrele de zidărie conduce la o rezistență mecanică redusă la sarcini dinamice;

c. consum ridicat de manoperă;

d. reprezintă un sistem constructiv care până în prezent are un grad redus de mecanizare.

4.2. Clasificarea zidăriilor

Datorită numărului mare de variante sub care se prezintă, zidăriile pot fi clasificate după mai multe criterii.

a. După natura materialelor utilizate se deosebesc:

- zidării din pământ;
- zidării din blocuri de piatră naturală;
- zidării din cărămizi sau blocuri de piatră artificială arsă sau nearsă.

b. După modul de alcătuire zidăriile pot fi:

- zidării simple, alcătuite dintr-un singur tip de bloc (Fig. 4.1.a);
- zidării mixte, alcătuite din două sau mai multe straturi paralele, realizate din materiale diferite (blocuri ceramice, blocuri de piatră, beton etc.), strâns legate între ele (Fig. 4.1.b);

- zidării armate care, funcție de modul de dispunere al armăturii, pot fi armate transversal sau longitudinal (Fig. 4.1.c,d);
- zidării complexe, ce includ elemente din beton armat monolit (stâlpişori, centuri) cu care conlucrează la preluarea încărcărilor (Fig. 4.1.e).

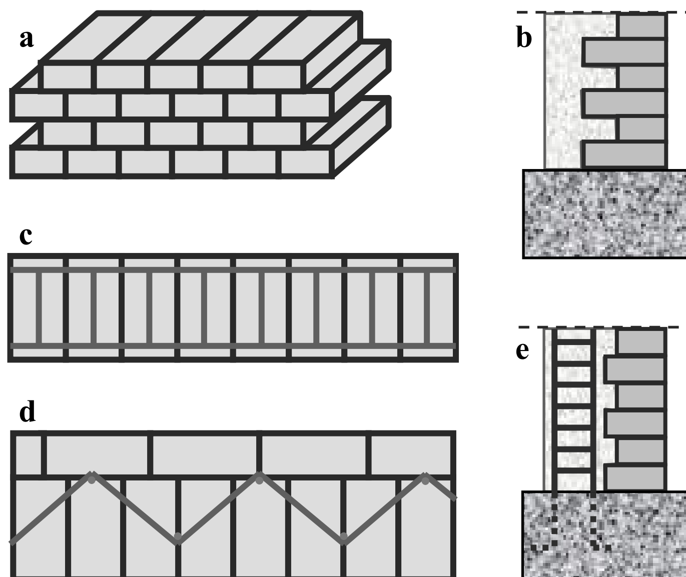


Fig. 4.1. Tipuri de zidarii
a. simple; **b.** mixte; **c.d.** armate; **e.** complexe

c. În raport cu mărimea blocurilor folosite, zidăriile se pot realiza din:

- cărămizi de toate tipurile, inclusiv produse din piatră naturală, a căror înălțime este cuprinsă între 50...150 mm;
- blocuri mici, pline sau cu goluri, cu înălțimea de 200...300 mm;
- blocuri mari, cu înălțimea mai mare de 500 mm, care se pot realiza din piatră, beton sau produse ceramice.

d. După rolul în cadrul construcției distingem:

- zidărie portantă (de rezistență) cu rolul de a prelua, pe lângă greutatea proprie şi încărcările date de alte elemente de construcție;
- zidărie autoportantă, care susține şi transmite numai greutatea sa proprie;
- zidărie neportantă (purtată), susținută de alte elemente de construcție (planşee, grinzi etc.).

4.3. Principii generale de alcătuire a zidăriilor

În cadrul zidăriilor blocurile se aşează după anumite reguli, astfel încât să se asigure o bună legătură şi împănare între ele, prin aşa numitul proces de țesere şi cu ajutorul mortarului.

Dispunerea blocurilor pe rânduri se poate face longitudinal (Fig. 4.2.a,b), transversal (Fig. 4.2.c), sau mixt (Fig. 4.2.d,e).

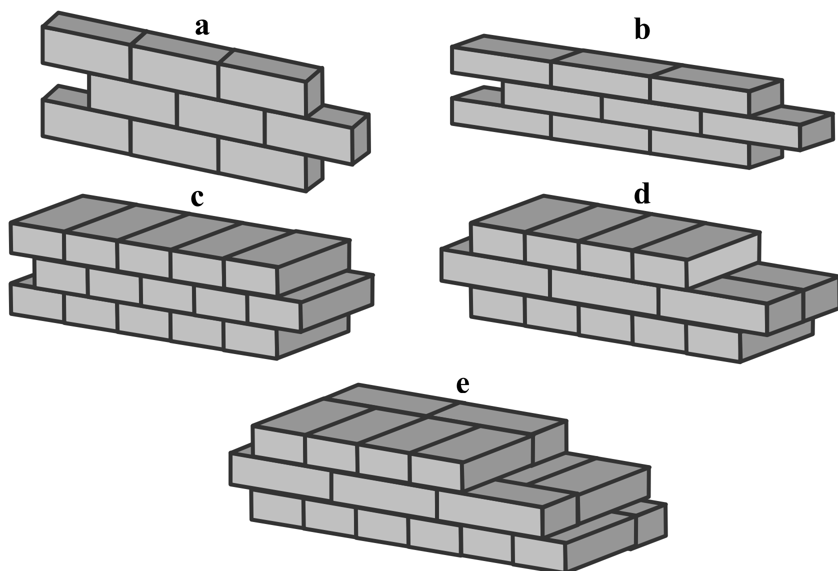


Fig. 4.2. Poziția cărămizilor în cadrul zidăriei
a. b. longitudinal; **c.** transversal; **d. e.** mixt

Spațiile dintre blocuri se numesc rosturi şi se umplu cu mortar pentru legătură. Rosturile sunt orizontale sau verticale.

Un şir orizontal de blocuri împreună cu rostul orizontal aferent se numeşte asiză.

Principiile de bază pentru alcătuirea unei zidării sunt:

a. rosturile orizontale trebuie să fie plane şi cât mai apropiate de poziția orizontală, pentru a asigura transmisia uniformă a încărcărilor verticale de la o asiză la alta;

b. rosturile verticale trebuie să fie alternante (decalate) de la o asiză la alta (sau de la un grup de asize la altul), astfel încât unui rost vertical dintr-un rând să-i corespundă un plin în rândul următor; în acest fel se evită formarea unor secțiuni slăbite în zidărie.

Realizarea unui element fără țesere între pietrele de zidărie (Fig. 4.3.a) conduce, în cazul unor solicitări de compresiune, la formarea unor stâlpişori izolați care lucrează independent, fără a asigura uniformizarea eforturilor pe secțiune şi care, în final, cedează succesiv prin flambaj lateral.

Prezența unor legături la mai multe rânduri îmbunătățeşte comportarea elementului, mai ales când înălțimea lui este relativ mare (Fig. 4.3.b). Legătura la mai multe rânduri se utilizează la realizarea elementelor de umplutură sau a celor slab solicitate.

Elementele portante din zidărie se realizează cu legături la fiecare rând (Fig. 4.3.c), care asigură o mai bună uniformizare a eforturilor şi o micşorare a deformațiilor transversale.

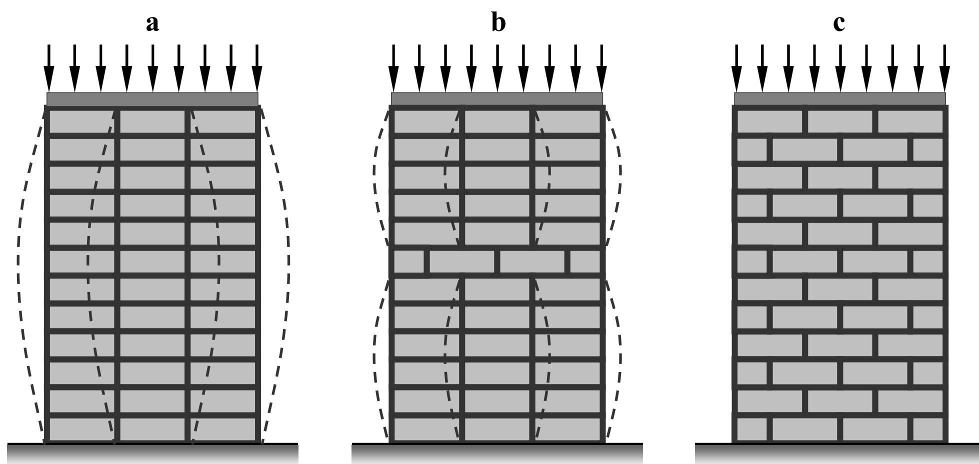


Fig. 4.3. Influența țeserii blocurilor de zidărie
a. zidărie nețesută; **b.** zidărie țesută la mai multe rânduri;
c. zidărie țesută la fiecare rând

4.4. Proprietăți mecanice ale zidăriilor

Zidăria este un material neomogen în care, datorită diverselor solicitări mecanice, iau naştere eforturi complexe în blocuri şi în mortar. Atât piatra de zidărie cât şi mortarul sunt materiale care lucrează favorabil la compresiune, dar se comportă defavorabil la întindere. Din această cauză solicitarea la care zidăria rezistă în bune condiții este compresiunea (centrică sau excentrică cu mică excentricitate).

4.4.1. Comportarea zidăriei supuse la compresiune

Blocurile de zidărie şi mortarul sunt supuse, chiar şi în cazul unei solicitări globale de compresiune centrică, la eforturi de compresiune locală, încovoiere, forfecare şi întindere (Fig. 4.4).

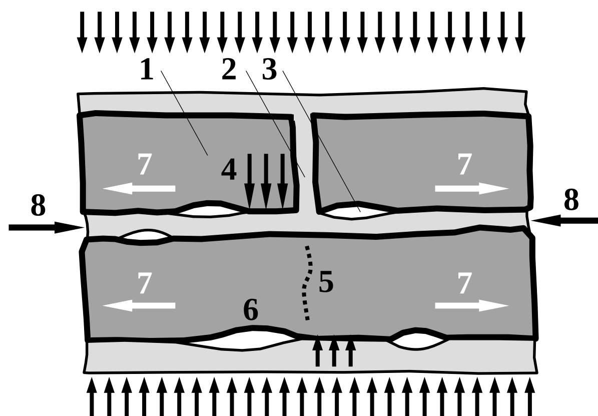


Fig. 4.4. Starea complexă de eforturi în blocuri (cărămizi) şi mortar
1. cărămizi; **2.** mortar; **3.** goluri de aer; **4.** zonă de compresiune locală
5. secțiune de forfecare; **6.** zonă încovoiată;
7. tensiuni de întindere în cărămizi; **8.** tensiuni de compresiune în mortar

Această stare complexă de eforturi se explică prin:

- neuniformitatea formei şi poziției blocurilor şi a stratului de mortar; blocul ajunge astfel să rezeme în unele zone discontinuu şi să se încarce neuniform;
- deformațiile diferite ale blocurilor şi ale mortarului (în special cel din rosturile orizontale); deformațiile transversale ale mortarului sunt mai mari decât ale blocurilor şi, fiind împiedicate de frecarea şi adeziunea cu piatra de zidărie, conduc la apariția eforturilor de compresiune în mortar şi de întindere în blocuri.

În Fig. 4.5 şi 4.6 sunt reprezentate stărilor de eforturi şi deformații (numai pentru blocurile zidăriei, nu şi în mortarul din rosturi), obținute prin simularea pe calculator a comportării unui perete supus pe ansamblu la compresiune. În Fig. 4.5 este prezentată situația unui perete corect executat, la care harta tensiunilor normale verticale are aceeaşi alura în toate blocurile curente (Fig. 4.5.c – nuanțele închise corespund valorilor mari ale tensiunilor).

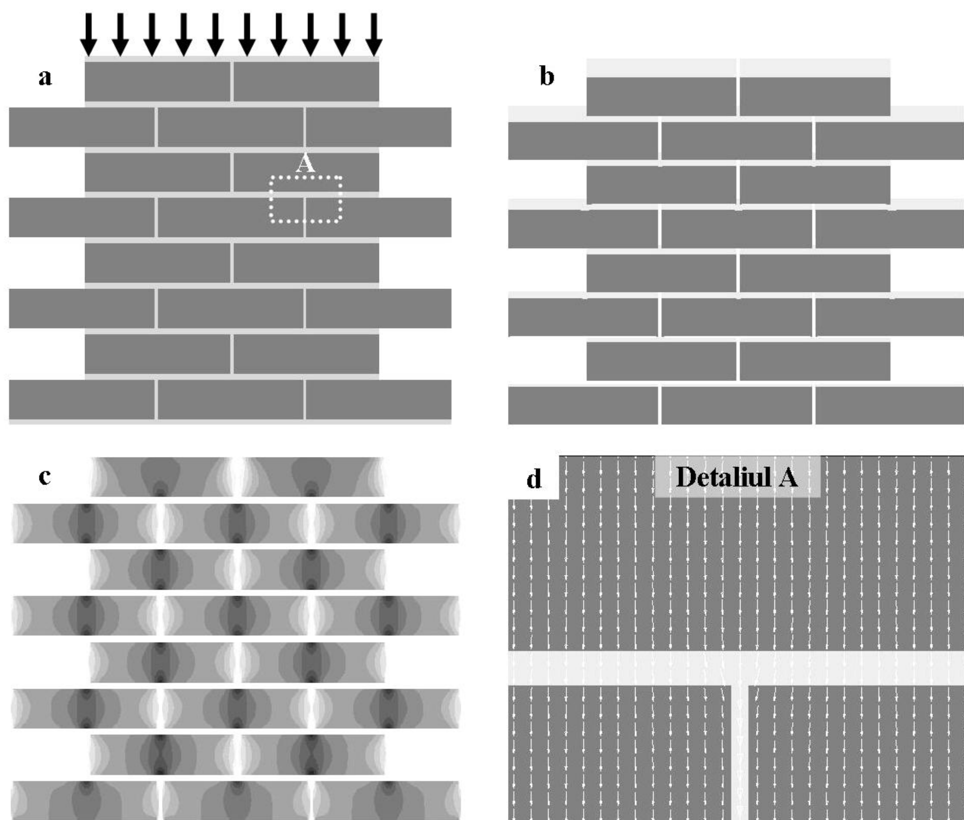


Fig. 4.5. Starea de solicitări la baza unui perete din zidărie (câmp curent)
a. elevație; **b.** deformata peretelui; **c.** harta tensiunilor normale verticale;
d. tensiunile principale de compresiune

În cazul utilizării unor blocuri cu defecte (suprafețe deplanate, muchii deteriorate etc.) sau în situația unei execuții neîngrijite (discontinuitatea mortarului în rosturile orizontale, lipsa mortarului în rosturile verticale etc.) stările de deformații (Fig. 4.6.b) şi de tensiuni (Fig. 4.6.c) se modifică sensibil. Unele zone ale blocurilor sunt mai puțin solicitate (Fig. 4.6.c – nuanțele deschise), dar la marginile acestor zone apar întodeauna concentrări importante de eforturi (Fig. 4.6.c – nuanțele închise), datorită devierii traseului firesc al tensiunilor (Fig. 4.6.d).

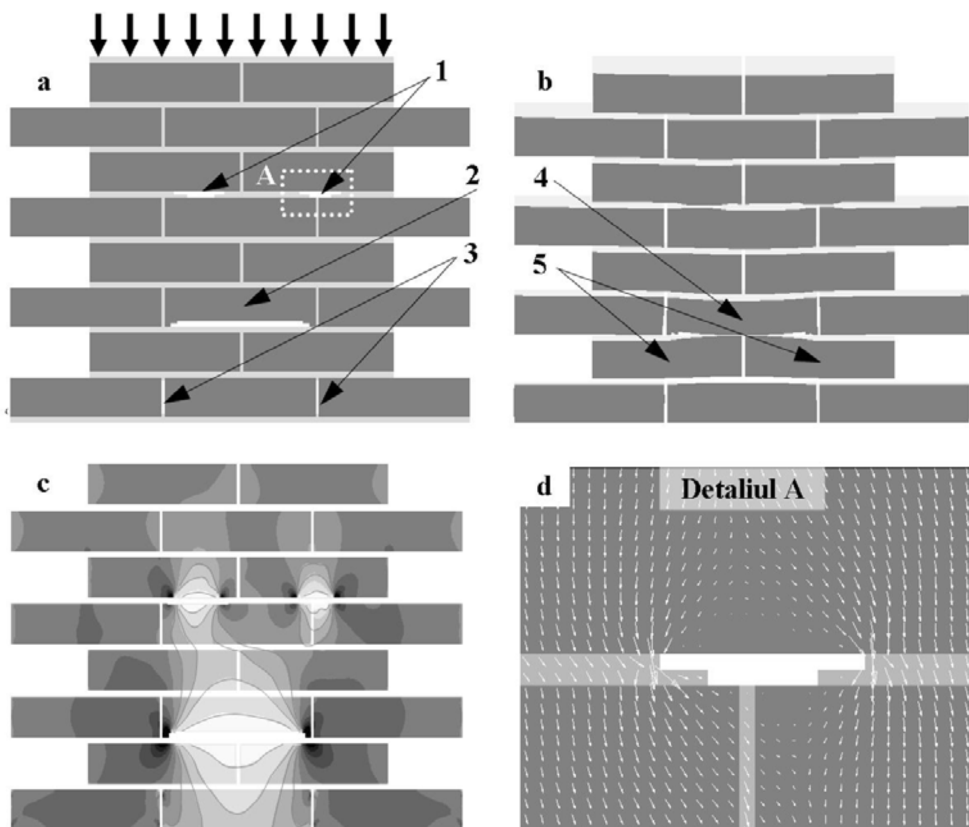


Fig. 4.6. Starea de solicitări la baza unui perete din zidărie cu defecte
a. elevație; **b.** deformata peretelui; **c.** harta tensiunilor normale verticale;
d. tensiunile principale de compresiune; **1.** rosturi orizontale neumplute;
2. bloc cu suprafața inferioară curbată; **3.** rosturi verticale fără mortar;
4. bloc supus la încovoiere; **5.** blocuri supuse la forfecare

În timpul încărcării treptate a elementelor de zidărie solicitate la compresiune centrică, se deosebesc următoarele stadii de lucru (Fig. 4.7):

Stadiul I – nu apar fisuri în zidărie ($N < N_{fis}$); elementul se comportă aproape elastic;

Stadiul II – începe odată cu apariția primelor fisuri în unele blocuri ($N = N_{fis}$), datorită eforturilor de întindere, încovoiere şi forfecare;

Stadiul III – fisurile existente se dezvoltă (ca lungime şi deschidere) şi apar fisuri noi, iar elementul de zidărie începe să se desfacă în stâlpişori verticali separați ($N_{fis} < N < N_r$); la menținerea constantă a încărcării dezvoltarea fisurilor încetează;

Stadiul IV – considerat stadiu de avarie, începe când deschiderea fisurilor continuă încet chiar la încărcare constantă şi are loc atunci când $N = (0,8...0,9).N_r$; la un mic spor al încărcării fisurile se deschid brusc şi se produce ruperea elementului datorită flambajului stâlpişorilor izolați formați prin unirea fisurilor ($N = N_r$).

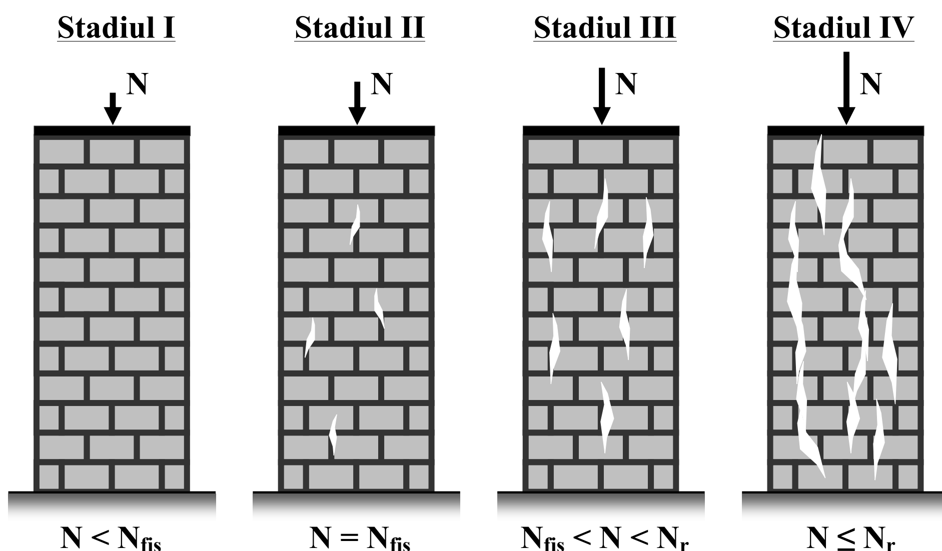


Fig. 4.7. Stadiile de lucru ale zidăriei solicitate la compresiune

4.4.2. Rezistența zidăriei la compresiune

Rezistența de rupere a zidăriei la compresiune centrică este influențată direct de următorii factori:

- caracteristicile fizico-mecanice ale blocurilor: rezistența, înălțimea, forma şi planeitatea fețelor, prezența unor fisuri, aspectul suprafețelor;
- caracteristicile mortarului: rezistența şi plasticitatea, grosimea stratului de mortar, uniformitatea, prezența unor granule mai mari etc.;
- alți factori: sistemul legăturilor, calitatea execuției, vârsta zidăriei, durata de încărcare, acțiunea factorilor climatici etc.

Există relații care permit stabilirea rezistenței la compresiune centrică a zidăriei ținând seama de factorii enumerați anterior. Una dintre cele mai utilizate este relația lui Oniscik, stabilită pe baze experimentale, cu ajutorul căreia rezistența normată a zidăriei la compresiune se exprimă:

$$R_z^n = A.R_b^n \left(1 - \frac{a}{b + \dfrac{R_m^n}{2.R_b^n}}\right)\eta \qquad (4.1)$$

unde: R_b^n, R_m^n – rezistența normată (caracteristică) a blocului de zidărie, respectiv a mortarului (daN/cm^2);

a, b – coeficienți adimensionali, determinați experimental;

A – coeficient de utilizare a blocului de zidărie, funcție de rezistența sa la încovoiere şi la forfecare;

η – coeficient de corecție pentru mortarele de mărci inferioare.

4.4.3. Rezistența zidăriei la întindere

Zidăria lucrează defavorabil la solicitările de întindere, încovoiere şi forfecare, evitându-se în general utilizarea ei în astfel de cazuri.

Întinderea apare în special la pereții silozurilor, rezervoarelor şi depozitelor, ca urmare a împingerii laterale date de lichide sau de anumite solide (pulverulente).

Întinderea la zidărie poate avea loc în secțiuni nelegate (continue), când efortul de întindere acționează perpendicular pe asize (Fig. 4.8.a), sau în secțiuni legate (țesute), când forța de întindere este paralelă cu rosturile orizontale (Fig. 4.8.b,c,d).

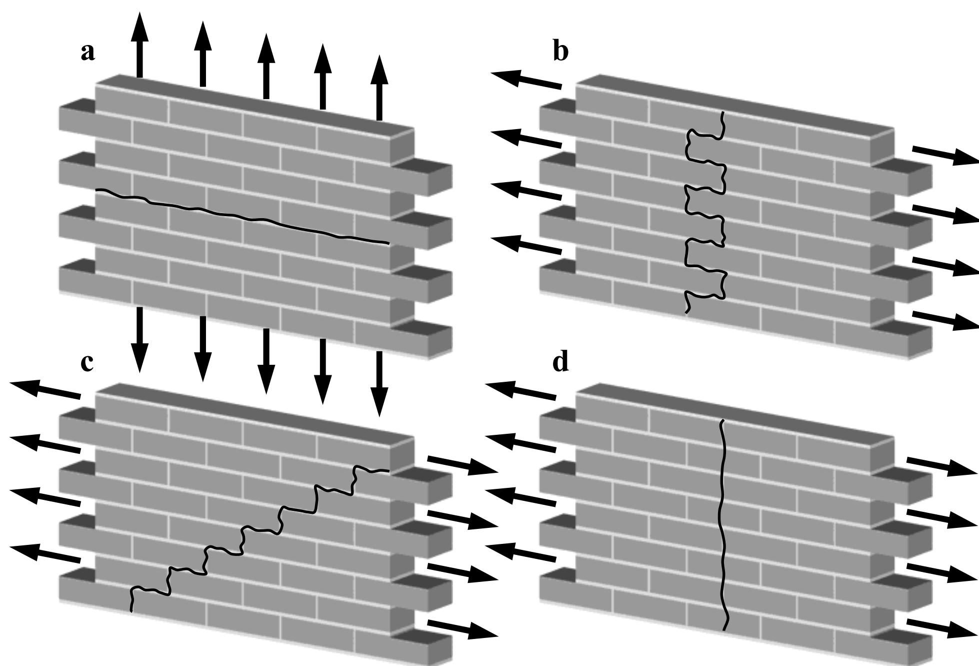


Fig. 4.8. Ruperea zidăriei la întindere
a. după secțiuni nelegate; **b.c.d.** după secțiuni legate

Ruperea zidăriei în secțiuni nelegate este posibilă prin desprinderea blocurilor de stratul de mortar, prin ruperea stratului de mortar sau prin ruperea blocurilor. În mod obişnuit ruperea are loc prin stratul de mortar sau prin desprinderea blocurilor.

Rezistența zidăriei la întindere este determinată în mare măsură de aderența dintre blocuri şi mortar, care depinde la rândul ei de marca, compoziția, lucrabilitatea şi vârsta mortarului, precum şi de starea suprafețelor blocurilor (netede sau rugoase).

Rezistența normată (caracteristică) de aderență la întindere a zidăriei $R_{t,n}^{n}$ (executată cu mortar de marcă până la 50 daN/cm^2) se poate determina, funcție de rezistența normată (caracteristică) a mortarului R_{m}^{n}, cu relația aproximativă:

$$R_{t,n}^{n} \cong \frac{3}{1+\frac{40}{R_{m}^{n}}} \tag{4.2}$$

Ruperea zidăriei în secțiuni legate poate avea loc în ştrepi (Fig. 4.8.b), în trepte (Fig. 4.8.c) sau prin secțiuni verticale care trec prin mortar şi prin blocuri (Fig. 4.8.d), funcție de aderența tangențială între mortar şi blocuri şi de rezistența la întindere a blocurilor. Se neglijează aderența dintre blocuri şi mortar în rosturile verticale, umplute incomplet cu mortar.

Rezistența normată (caracteristică) la întindere tangențială a zidăriei $R_{t,t}^{n}$ depinde de aceeaşi factori ca şi rezistența normată $R_{t,n}^{n}$, şi se apreciază cu relațiile prezentate în continuare.

a. Cazul 1 – rupere (cedare) de tipul celei din Fig. 4.8.b sau 4.8.c

$$R^{n}_{t,t} = 2,5\frac{3}{1+\frac{40}{R^{n}_{m}}} \tag{4.3}$$

b. Cazul 2 – rupere (cedare) de tipul celei din Fig. 4.8.d

$$R^{n}_{t,t} = 0,5.R^{'}_{t} = 0,5\frac{24R^{n}_{b}}{220+R^{n}_{b}} \tag{4.4}$$

unde: $R^{'}_{t}$ – rezistența la întindere a blocului (daN/cm^2);

R^{n}_{b} – rezistența la compresiune a blocului (daN/cm^2).

4.4.4. Rezistența zidăriei la forfecare

Solicitarea de forfecare se întâlneşte la reazemele construcțiilor, la arce, buiandrugi etc.

Ca şi în cazul solicitării de întindere, ruperea poate avea loc prin secțiuni nelegate (Fig. 4.9.a) sau legate (Fig. 4.9.b), după cum forța tăietoare acționează paralel cu asizele, respectiv perpendicular pe asize.

Rezistența de rupere la forfecare după secțiuni nelegate $R^{n}_{f,t}$ se determină pe baza relației Mohr-Coulomb cu expresia:

$$R^{n}_{f,t} = R^{n}_{t,t} + 0,8.f.\sigma_0 \tag{4.5}$$

unde: σ_0 – efortul mediu de compresiune în secțiunea considerată ($\sigma_0 = N / A$) (daN/cm^2);

$R^{n}_{t,t}$ – rezistența normată la întindere tangențială (daN/cm^2);

f – coeficient de frecare în rosturile zidăriei.

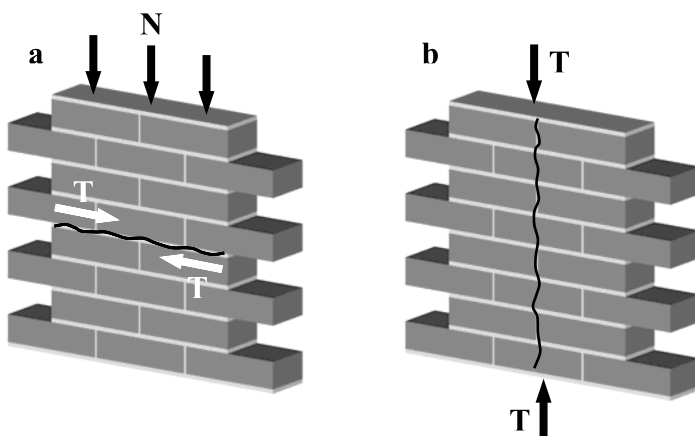


Fig. 4.9. Forfecarea zidăriei
a. după secțiuni nelegate; **b.** după secțiuni legate

Rezistența la forfecare după secțiuni legate $R^n_{f,n}$ se consideră egală cu rezistența de rupere la forfecare a blocului de zidărie (se neglijează mortarul):

$$R^n_{f,n} = R^n_{f,b} \tag{4.6}$$

4.4.5. Rezistența zidăriei la strivire

Solicitarea de strivire (compresiune locală) are loc atunci când numai o parte a secțiunii unui element este supusă la eforturi de compresiune (Fig. 4.10).

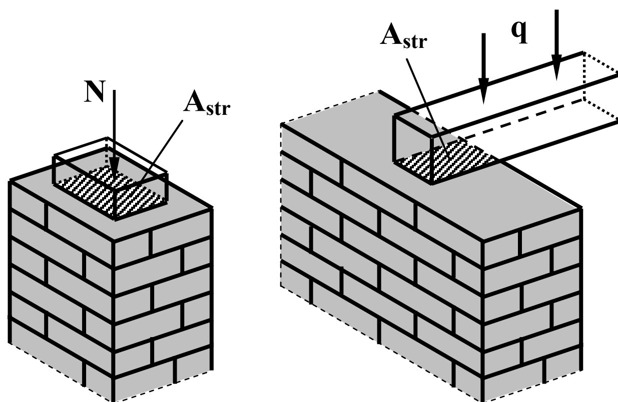


Fig. 4.10. Solicitarea zidăriei la strivire

Deoarece în acest caz zonele învecinate nesolicitate (sau slab solicitate) împiedică deformațiile transversale ale porțiunii comprimate, zidăria lucrează mai favorabil, iar rezistența sa la strivire R_{str}^{n} este mai mare decât rezistența la compresiune R_{z}^{n}. Rezistența la strivire este cu atât mai mare cu cât raportul dintre aria totală (convențională) a elementului (A_c) şi aria suprafeței strivite (A_{str}) este mai mare, conform relației lui Bauschinger:

$$R_{str}^{n} = R_{z}^{n} \sqrt[3]{\frac{A_c}{A_{str}}} \leq 2R_{z}^{n} \tag{4.7}$$

Aria convențională de calcul A_c se determină funcție de condițiile concrete de rezemare (Fig. 4.11), dar întodeauna va fi mai mare decât aria de strivire.

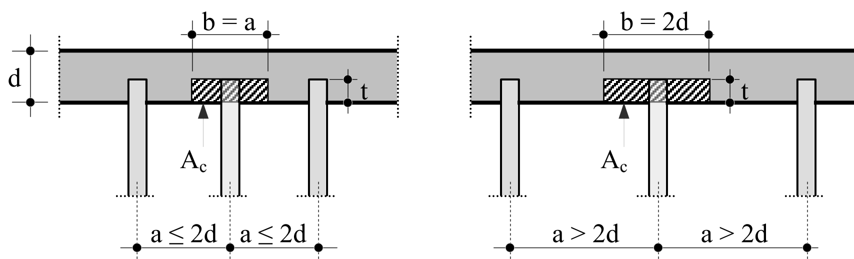


Fig. 4.11. Stabilirea ariei convenționale de calcul la strivire

4.5. Deformațiile zidăriilor

4.5.1. Modulul de elasticitate

Comportarea zidăriei sub aspectul deformațiilor care apar la acțiunea sarcinilor verticale reflectă în esență proprietățile materialelor componente (bloc de zidărie şi mortar) precum şi gradul de conlucrare dintre aceste materiale.

Experimental s-a constatat că deformația totală a unei probe comprimate se datorează în cea mai mare măsură deformației rosturilor orizontale. Deşi cca. 85% din volumul zidăriei este ocupat de cărămizi, deformația zidăriei este în proporție de 90% rezultatul deformației mortarului, deformațiile blocurilor contribuind cu numai 10%.

Curbele caracteristice ale celor doua materiale (Fig. 4.12) arată o comportare aproape elastică (liniară) pentru blocul de zidărie şi o comportare elasto-plastică pentru mortar, această din urmă caracteristică imprimându-se şi zidăriei.

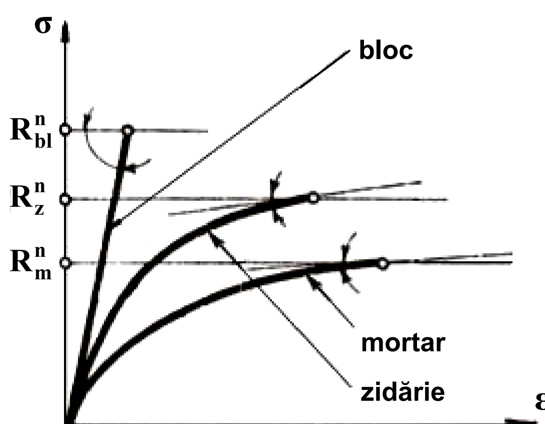


Fig. 4.12. Curbele caracteristice ale blocului, mortarului şi zidăriei

Caracterul deformației zidăriei se reflectă prin modulul de elasticitate E, definit ca fiind panta tangentei geometrice la curba caracteristică (Fig. 4.13.a):

$$E = tg\beta = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} \tag{4.8}$$

unde: σ – efortul unitar (daN/cm^2);

ε – alungirea specifică.

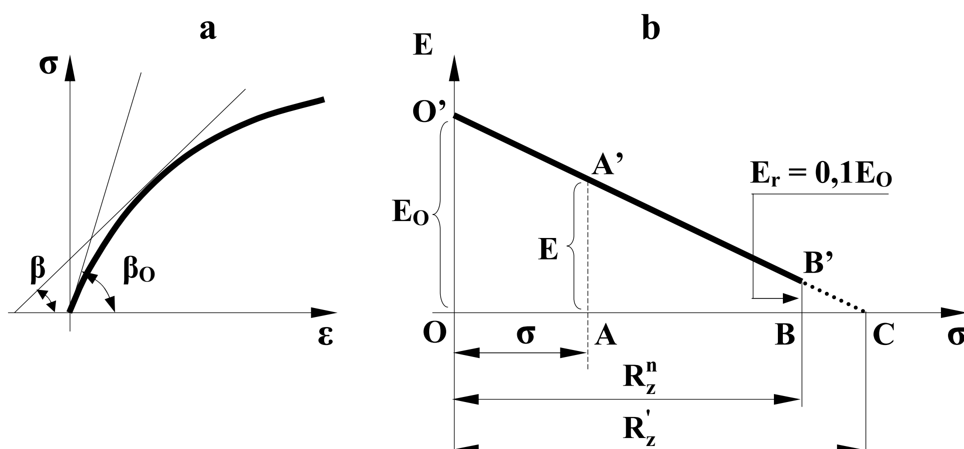


Fig. 4.13. Proprietățile de deformare ale zidăriilor
a. curba caracteristică; **b.** variația modulului de elasticitate

Deoarece diagrama caracteristică a zidăriei este reprezentată de o linie curbă iar tangenta geometrică prezintă unghiuri de înclinare diferite de la un punct la altul, rezultă că modulul de elasticitate al zidăriei este variabil cu efortul unitar, descrescând de la valoarea inițială $E_o = \text{tg}\ \beta_0$ la valoarea $E_r = \text{tg}\ \beta_r$ corespunzătoare ruperii.

Experimental s-a constatat că modulul de elasticitate la rupere reprezintă cca. 10% din valoarea modulului inițial ($E_r = 0{,}1.E_0$) şi pe această bază se poate stabili o relație între modulul de elasticitate şi efortul unitar normal.

Se consideră o variație liniară a modulului de elasticitate cu efortul unitar normal şi se defineşte rezistența limită convențională R_z' ca fiind rezistența teoretică pentru care $E = 0$ (Fig. 4.13.b).

Din asemănarea triunghiurilor OCO' şi BCB' (Fig. 4.13.b) rezultă:

$$\frac{BC}{OC} = \frac{BB'}{OO'} \quad \Rightarrow \quad \frac{R_z' - R_z^n}{R_z'} = \frac{0{,}1.E_0}{E_0} \quad \Rightarrow \quad R_z' = 1{,}1.R_z^n \qquad (4.9)$$

Din asemănarea triunghiurilor OCO’ şi ACA’ (Fig. 4.13.b) rezultă:

$$\frac{AC}{OC}=\frac{AA'}{OO'} \Rightarrow \frac{R_z^{'}-\sigma}{R_z^{'}}=\frac{E}{E_0} \Rightarrow E=E_0\left(1-\frac{\sigma}{R_z^{'}}\right) \qquad (4.10)$$

În consecinţă:

$$\boxed{E=E_0\left(1-\frac{\sigma}{1{,}1R_z^n}\right)} \qquad (4.11)$$

Prin mijloace experimentale s-a demonstrat că modulul de elasticitate iniţial depinde de rezistenţa normată de rupere la compresiune a zidăriei R_z^n şi de un coeficient numit caracteristică elastică, notat cu α ($\alpha = 500...2000$, funcţie de natura blocurilor şi de marca mortarului), conform relaţiei:

$$E_0=\alpha R_z^n \qquad (4.12)$$

Deşi modulul de elasticitate al zidăriei este variabil, în calcule se pot considera următoarele valori medii:

- $E = 0{,}8.E_0$ – pentru calculul deformaţiilor la sistemele static nedeterminate, sub influenţa sarcinilor de exploatare;
- $E = 0{,}5.E_0$ – pentru calculul la starea limită a capacităţii portante sau în stadiul de rupere.

Deformaţia specifică a zidăriei ε se poate determina pe baza modulului de elasticitate şi a efortului unitar, plecând de la relaţia (4.8), prin integrare, ţinând seama şi de relaţia (4.11). Rezultă:

$$\boxed{\varepsilon=-\frac{1{,}1R_z^n}{E_0}\ln\left(1-\frac{\sigma}{1{,}1R_z^n}\right)} \qquad (4.13)$$

4.5.2. Flambajul elementelor de zidărie

Cercetările experimentale au arătat ca eforturile unitare critice ale elementelor din zidărie pot fi determinate cu suficientă precizie folosind metoda coeficientului de flambaj, definit prin relația:

$$\varphi = \frac{\sigma_{af}}{\sigma_{ac}} = \frac{\frac{\sigma_{cr}}{c}}{\frac{\sigma_c}{c}} = \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_c} \tag{4.14}$$

unde: σ_{af} – rezistența admisibilă la flambaj (daN/cm^2);

σ_{ac} – rezistența admisibilă la compresiune (daN/cm^2);

σ_{cr} – efortul critic de flambaj (daN/cm^2);

σ_c – rezistența limită la compresiune (daN/cm^2);

c – coeficient de siguranță.

La zidării, coeficientul de flambaj se defineşte ca raport între efortul unitar critic de flambaj şi rezistența limită convențională $R_z^{'}$:

$$\varphi = \frac{\sigma_{cr}}{R_z^{'}} = \frac{\sigma_{cr}}{1{,}1 R_z^n} \tag{4.15}$$

Efortul unitar de flambaj se determină cu formula lui Euler stabilită pentru domeniul elastic, în care modulul de deformație este dat de relația (4.11):

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E I}{A \ell_f^2} = \frac{\pi^2 E_0 I}{A \ell_f^2}\left(1 - \frac{\sigma_{cr}}{1{,}1 R_z^n}\right) \tag{4.16}$$

Dacă se notează cu σ_{cr}^{0} efortul unitar critic corespunzător modulului inițial de elasticitate E_o:

$$\sigma_{cr}^{0} = \frac{\pi^2 E_0 I}{A\ell_f^2} \tag{4.17}$$

atunci relația (4.16) devine:

$$\sigma_{cr} = \sigma_{cr}^{0}\left(1 - \frac{\sigma_{cr}}{1{,}1R_z^n}\right) \tag{4.18}$$

Din această egalitate rezultă expresia efortului critic:

$$\sigma_{cr} = \frac{\sigma_{cr}^{0}}{1 + \frac{\sigma_{cr}^{0}}{1{,}1R_z^n}} \tag{4.19}$$

Împărțind ambii termeni ai ultimei relații la $1{,}1R_z^n$ rezultă:

$$\frac{\sigma_{cr}}{1{,}1R_z^n} = \frac{\frac{\sigma_{cr}^{0}}{1{,}1R_z^n}}{1 + \frac{\sigma_{cr}^{0}}{1{,}1R_z^n}} \tag{4.20}$$

sau:

$$\varphi = \frac{\varphi_0}{1 + \varphi_0} \tag{4.21}$$

în care:

$$\varphi_0 = \frac{\sigma_{cr}^{0}}{1{,}1R_z^n} = \frac{\pi^2 E_0 I}{A\ell_f^2 1{,}1R_z^n} = \pi^2 A_0 \tag{4.22}$$

Înlocuind $E_0 = \alpha R_z^n$ şi $I/A = i^2$ în expresia (4.22), se obține:

$$\varphi_0 = \frac{\pi^2 \alpha R_z^n}{\ell_f^2 1{,}1 R_z^n} i^2 = \frac{\pi^2 \alpha}{1{,}1}\left(\frac{i}{\ell_f}\right)^2 = \frac{9\alpha}{\lambda^2} \tag{4.23}$$

Rezultă dependența coeficientului de flambaj al zidăriei de zveltețea (subțirimea) elementului şi de caracteristica elastică a zidăriei. În prescripțiile tehnice valorile coeficientului de flambaj φ se dau pentru α = 1000, funcție de coeficientul de zveltețe $\lambda = \ell_f / i$ sau gradul de zveltețe $\beta = \ell_f / d$. Pentru alte valori ale caracteristicii de elasticitate, diferite de 1000, coeficientul de flambaj se determină considerând lungimea de flambaj multiplicată cu factorul:

$$\sqrt{\frac{1000}{\alpha}} \tag{4.24}$$

La stabilirea lungimii de flambaj se ține seama de înălțimea reală a elementului şi de modul de rezemare.

4.6. Calculul secțiunilor de zidărie simplă

Calculul secțiunilor de zidărie simplă se efectuează conform prescripțiilor generale de verificare a siguranței construcțiilor, prin verificarea comportării față de stările limită care pot apare în diferite etape, ținând seama de cele mai defavorabile condiții de solicitare, de cele mai defavorabile caracteristici ale materialelor, de influențele simplificărilor introduse în calcule etc.

În cazul elementelor din zidărie se iau în considerare următoarele stări limită:

- stări limită ultime de rezistență şi stabilitate;

- stări limită ale exploatării normale (stări limită de serviciu), determinate de mărimea deformațiilor şi de apariția şi deschiderea fisurilor.

Calculul elementelor din zidărie se face cu încărcările de calcul, determinate prin înmulțirea valorilor normate (valorilor caracteristice) ale încărcărilor cu coeficientul încărcării, numit coeficient parțial de siguranță.

Elementele din zidărie se verifică fie prin compararea solicitării de calcul cu capacitatea portantă, fie prin compararea eforturilor unitare ce iau naştere sub efectul solicitărilor de calcul, cu rezistența de calcul.

4.6.1. Compresiunea centrică

Relația de verificare se stabileşte pe baza echilibrului dintre acțiunea axială de calcul (N_d) şi eforturile limită la compresiune ale zidăriei (egale cu rezistența de calcul la compresiune a zidăriei), considerate uniform distribuite pe întreaga secțiune a elementului (Fig. 4.14). Rezultă:

$$N_d = \gamma N_k \leq A.R_z \tag{4.25}$$

unde: N_d – solicitarea axială de calcul (daN);
N_k – solicitarea axială caracteristică (normată) (daN);
γ – coeficient parțial de siguranță (coeficientul încărcării);
A – aria secțiunii elementului (cm^2);
R_z – rezistența de calcul la compresiune centrică (daN/cm^2).

Pentru elementele zvelte, la care $\beta = \ell_f/d > 3$ sau $\lambda = \ell_f/i > 10.5$, intervine fenomenul de flambaj, iar relația de verificare devine:

$$\boxed{N_d = \gamma N_k \leq \varphi.A.R_z} \tag{4.26}$$

unde: φ – coeficientul de flambaj.

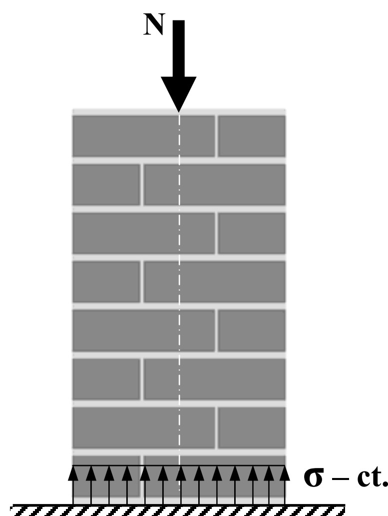


Fig. 4.14. Element din zidărie comprimat centric

4.6.2. Compresiunea excentrică

Compresiunea excentrică este solicitarea cea mai des întâlnită la elementele din zidărie (pereți, stâlpi etc.) şi se datorează acțiunii unei forțe N aplicată cu o excentricitate e_0. Efectul acestei solicitări este acelaşi cu efectul unei forțe axiale centrice N şi al unui moment încovoietor egal cu produsul $N.e_0$.

Studiile experimentale efectuate pe stâlpi din zidărie solicitați la compresiune excentrică au scos în evidență deosebiri esențiale în comportarea acestora funcție de mărimea excentricității forței.

a. Compresiune excentrică cu mică excentricitate

Se consideră că acest tip de solicitare apare atunci când este îndeplinită relația:

$$e_0 \leq 0{,}45.y \qquad (4.27)$$

unde: y – distanța dintre centrul de greutate al secțiunii şi marginea cea mai solicitată (Fig. 4.15).

În acest caz întreaga secțiune a elementului este solicitată la compresiune; variația eforturilor unitare este curbilinie, dar în calcule se consideră, în mod simplificat, o variație liniară (Fig. 4.15.a).

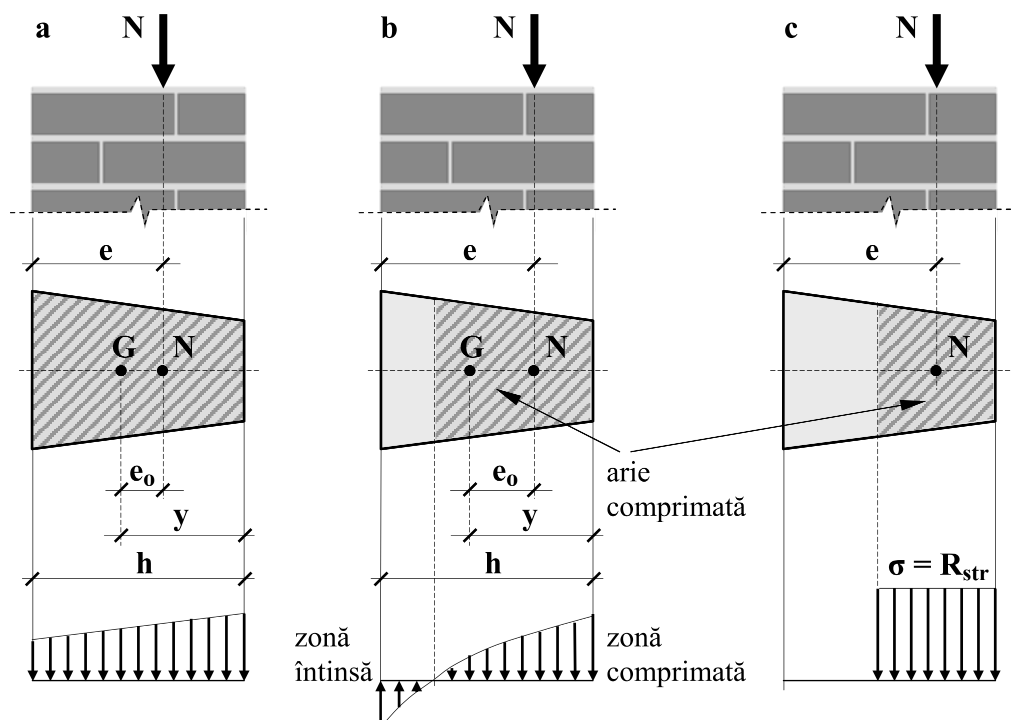


Fig. 4.15. Compresiunea excentrică
a. cu mică excentricitate; **b.c.** cu mare excentricitate

Cercetările experimentale au arătat că pentru valori mici ale excentricității distribuția eforturilor unitare pe secțiune nu suferă modificări semnificative cu variația excentricității. Pe această bază se poate scrie egalitatea aproximativă a momentului forței de rupere în raport cu fibra mai puțin solicitată în cazul compresiunii excentrice cu mică excentricitate (Fig. 4.15.a), cu momentul forței de rupere în cazul compresiunii centrice:

$$\begin{aligned} N.e &= \sigma.A(h-y) \\ e &= h-y+e_0 \end{aligned} \qquad (4.28)$$

Relațiile (4.28), scrise în stadiul de rupere, conduc la:

$$N_r(h - y + e_0) = A.R_z(h - y) \tag{4.29}$$

de unde, împărțind ambii membrii cu h - y, se obține:

$$N_r = \frac{A.R_z}{1 + \frac{e_0}{h - y}} \tag{4.30}$$

În consecință, relația de verificare a elementelor din zidărie, solicitate la compresiune excentrică cu mică excentricitate, în metoda stărilor limită, ținând cont şi de fenomenul de flambaj, se va scrie (pentru secțiuni oarecare):

$$\boxed{N_d = \gamma N_k \le \frac{\varphi.A.R_z}{1 + \frac{e_0}{h - y}}} \tag{4.31}$$

b. Compresiune excentrică cu mare excentricitate

Acest caz apare când este îndeplinită inegalitatea:

$$e_0 > 0{,}45.y \tag{4.32}$$

În această situație o parte a secțiunii este solicitată la întindere (Fig. 4.15.b), ceea ce va conduce la apariția şi dezvoltarea unor fisuri, iar încărcarea este preluată numai de zona comprimată, care se reduce pe măsură ce excentricitatea creşte.

Momentul forței de rupere variază sensibil cu mărimea excentricității, iar cedarea elementului din zidărie are loc prin ruperea zonei comprimate.

Capacitatea portantă a elementelor din zidărie solicitate la compresiune excentrică cu mare excentricitate este determinată de rezistenţa zonei comprimate şi nu de rezistenţa la întindere a zonei întinse.

Pe măsură ce suprafaţa zonei comprimate a secţiunii scade prin dezvoltarea zonei întinse fisurate, are loc o deplasare a centrului de greutate al secţiunii comprimate, respectiv scăderea excentricităţii forţei, ceea ce se manifestă favorabil asupra comportării elementului. De asemeni, se constată o creştere a rezistenţei de rupere a zidăriei comprimate excentric faţă de rezistenţa la compresiune centrică, deoarece zonele necomprimate limitează deformaţiile transversale ale porţiunii comprimate, ca şi în cazul compresiunii locale (strivirii).

Pe baza acestui model se poate stabili relaţia de verificare a elementelor din zidărie solicitate la compresiune excentrică cu mare excentricitate, considerând o distribuţie uniformă a eforturilor unitare de compresiune pe secţiunea activă (comprimată) A_c a elementului. La limită, efortul unitar devine egal cu rezistenţa la strivire (Fig. 4.15.c).

Din relaţia de echilibru de proiecţie pe axa verticală a elementului rezultă:

$$N = A_c . R_{str} = A_c . R_z \sqrt[3]{\frac{A}{A_c}} = A . R_z \sqrt[3]{\left(\frac{A_c}{A}\right)^2} \tag{4.33}$$

unde: A_c – aria comprimată (cm^2);

A – aria totală a elementului (cm^2);

R_{str} – rezistenţa de calcul la strivire (daN/cm^2);

R_z – rezistenţa de calcul la compresiune centrică (daN/cm^2).

În metoda stărilor limită, ţinând cont şi de fenomenul de flambaj, relaţia de verificare devine:

$$\boxed{N_d = \gamma N_k \le \varphi_1 . A . R_z \sqrt[3]{\left(\frac{A_c}{A}\right)^2}} \quad \left(\varphi_1 = \frac{\varphi + \varphi_c}{2}\right) \tag{4.34}$$

unde: φ_1 – coeficientul de flambaj corectat, ţinând seama de fisurarea secţiunii;

φ – coeficientul de flambaj al întregii secţiuni a elementului;

φ_c – coeficientul de flambaj pentru partea comprimată a elementului, determinat funcţie de caracteristica elastică a zidăriei şi de coeficientul de zvelteţe λ_c (sau de gradul de zvelteţe β_c), conform relaţiilor:

$$\lambda_c = \frac{\ell_f}{i_c}; \qquad \beta_c = \frac{\ell_f}{h_c} \tag{4.35}$$

ℓ_f – lungimea de flambaj (cm);

i_c – raza de giraţie a zonei comprimate (cm);

h_c – înălţimea zonei comprimate (cm).

Aria zonei comprimate A_c se poate determina în mod simplificat admiţând ipoteza că sarcina exterioară N este aplicată în centrul de greutate al secţiunii comprimate (active). Pentru secţiuni dreptunghiulare rezultă:

$$A_c = A\left(1 - \frac{2.e_0}{h}\right) \tag{4.36}$$

Relația de verificare (4.34) devine:

$$N_d = \gamma N_k \leq \varphi_1 .A.R_z \sqrt[3]{\left(1-\frac{2.e_0}{h}\right)^2} \qquad (4.37)$$

Aceste relații sunt valabile numai pentru valori ale excentricității $e_0 < e_{lim}$, unde $e_{lim} = (0,6...0,8).y$ funcție de tipul zidăriei. Dacă excentricitatea depăşeşte valoarea limită (e_{lim}), precum şi pentru construcții la care condițiile de exploatare nu admit fisuri, este necesară verificarea la fisurare.

4.6.3. Compresiunea locală (strivirea)

Compresiunea locală este des întâlnită în construcții la rezemarea grinzilor pe pereții din zidărie, şi uneori în cazul stâlpilor din zidărie.

Elementele din zidărie solicitate la strivire se verifică cu relația:

$$\boxed{N \leq \mu .A_{str} .R_{str}} \qquad (4.38)$$

unde: A_{str} – suprafața de strivire (porțiunea încărcată) (cm^2);

R_{str} – rezistența de calcul a zidăriei la compresiune locală (daN/cm^2);

μ – coeficient de formă al diagramei presiunilor (rezultate ca urmare a încărcării locale), cu valorile: $\mu = 1,0$ pentru distribuție dreptunghiulară (uniformă); $\mu = 0,5$ pentru distribuție triunghiulară (Fig. 4.16).

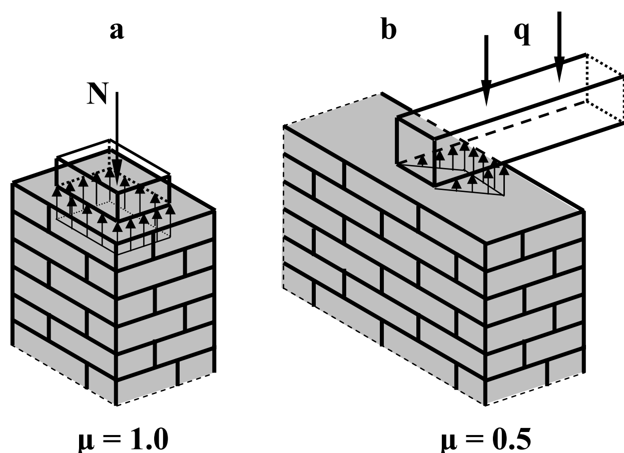


Fig. 4.16. Distribuția presiunilor la compresiune locală
a. distribuție uniformă; **b.** distribuție triunghiulară

4.6.4. Forfecarea

a. Verificarea elementelor din zidărie solicitate la forfecare, paralel cu rosturile orizontale (secțiuni nelegate), de o forță tăietoare de calcul H, se efectuează cu relația:

$$\boxed{H \leq (R_f + f.\sigma_0).A_f} \qquad (4.39)$$

unde: H – forța tăietoare (orizontală) de calcul (daN);

R_f – rezistența de calcul a zidăriei la forfecare (daN/cm^2);

σ_o – efortul unitar mediu de compresiune pe rostul forfecat ($\sigma_o = N/A_c$) (daN/cm^2);

f – coeficient de frecare;

A_f – aria secțiunii forfecate (cm^2).

b. Dacă solicitarea se exercită normal pe rosturile orizontale, verificarea la forfecare se face după rosturi legate, mai precis prin blocuri, luând în considerare aria netă a blocurilor $A_{net,b}$, fără rosturile de mortar. Se utilizează relația:

$$\boxed{V \leq R_{f,b} . A_{net,b}} \tag{4.40}$$

unde: V – forța tăietoare (verticală) de calcul (daN);

$R_{f,b}$ – rezistența de calcul la forfecare a blocurilor din zidărie (daN/cm^2).

4.6.5. Încovoierea simplă

Solicitarea de încovoiere apare la pereții cu suprafață mare datorită acțiunii vântului, la zidurile de sprijin, ca urmare a unor tasări etc.

Verificarea se face cu relația:

$$\boxed{\sigma = \frac{M}{W} \leq R_{t,i}} \tag{4.41}$$

unde: M – momentul încovoietor de calcul din secțiunea considerată (daN.cm);

W – modulul de rezistență al secțiunii (cm^3);

R_{ti} – rezistența de calcul la întindere din încovoiere a zidăriei (daN/cm^2).

Capitolul 5
Higrotermica clădirilor

5.1. Considerații generale

Higrotermica este o ramură a fizicii construcțiilor în cadrul căreia sunt studiate acele fenomene şi caracteristici ale clădirilor ce au în vedere satisfacerea cerințelor de viață ale oamenilor şi în special protecția contra agenților climatici: variații de temperatură şi de umiditate, vânt, ploaie, zăpadă etc. Astfel, sunt investigate procesele de transfer de masă şi căldură în construcții, respectiv transmisia vaporilor de apă (higro) şi a căldurii (termo) prin elementele de construcții, precum şi efectele pe care aceste procese le au asupra condițiilor de microclimat interior, a condițiilor de igienă şi confort, a durabilității şi a caracteristicilor fizice ale elementelor.

Prin transfer de căldură se înțelege procesul spontan, ireversibil de propagare a căldurii în spațiu, reprezentând schimbul de energie termică între corpuri, sau regiuni ale aceluiaşi corp, ca rezultat al diferenței de temperatură dintre acestea. Transferul de căldură este un transfer de energie

între sisteme fizico–chimice sau între diferitele părți ale aceluiaşi sistem, în cadrul unei transformări în care nu se efectuează lucru mecanic.

Ştiința transferului de căldură are ca preocupare procesele în care energia termică la parametri mai ridicați este transformată în energie termică la parametri mai coborâți. În mod curent, parametrul cu care se apreciază calitatea căldurii este temperatura, definită ca o măsură globală a intensității proceselor care determină energia internă a unui corp.

Schimbul de căldură respectă cele două principii fundamentale ale termodinamicii.

- **Principiul I al termodinamicii, care exprimă legea conservării energiei:**

  „Dacă într-un sistem izolat termic, schimburile de căldură se desfăşoară fără reacții chimice, fără fenomene electromagnetice sau de disociere şi fără deplasări de mase, cantitatea de căldură a sistemului rămâne constantă, oricare ar fi schimburile termice dintre părțile sale componente.”

- **Principiul al II-lea al termodinamicii**, care stabileşte sensul natural al propagării căldurii, întotdeauna de la zona cu temperatură mai ridicată către zona cu temperatură mai coborâtă:

  „Dacă într-un sistem izolat termic, distribuția temperaturilor este neuniformă, vor avea loc schimburi de căldură, aceasta scurgându-se din regiunile cu temperatură ridicată spre cele cu temperatură joasă, până la completa nivelare a temperaturilor sistemului.”

Practic, transferul de căldură este prezent într-o măsură mai mare sau mai mică în majoritatea domeniilor tehnicii actuale, iar importanța lui este în

continuă creştere. Legile transferului termic controlează modul în care căldura se transmite prin elementele exterioare ale clădirilor (anvelopa), proiectarea şi funcționarea unei extrem de mari varietăți de aparate şi instalații industriale etc.

Se poate afirma că obiectivele generale ale studiului transferului de căldură sunt constituite de găsirea metodelor şi procedeelor de frânare a acestui fenomen în cazul elementelor de izolare termică, sau de intensificare în cazul unor instalații de diverse tipuri.

În mod analog transferului de căldură, transferul sau schimbul de masă se defineşte ca procesul spontan de transfer de substanță, între două regiuni cu concentrații diferite. Sensul transferului de masă este întodeauna din regiunea cu concentrație mai mare către regiunea cu concentrație mai redusă. Transferul de masă are loc în două moduri distincte: prin difuzie moleculară şi prin difuzie turbulentă.

În aplicațiile practice, procesele de transfer de căldură şi de masă se pot desfăşura separat sau împreună.

Clădirile trebuie să satisfacă anumite cerințe de confort, pentru îndeplinirea cărora mărimile fizice ce caracterizează microclimatul încăperilor nu trebuie să depăşească anumite limite. De exemplu, temperatura interioară în clădirile de locuit trebuie să fie minim 20 ºC iarna şi maxim 26 ºC vara, umiditatea relativă cca. 35...70% iarna şi 60% vara, viteza maximă de mişcare a aerului interior 0.2 m/s.

5.2. Transmisia căldurii

5.2.1. Noțiuni fundamentale

Rezolvarea problemelor de transfer termic specifice construcțiilor se bazează pe cunoaşterea legilor fizicii referitoare la schimbul de căldură, stabilite în cadrul teoriei propagării căldurii.

Dintre criteriile de confort, de primă importanță este cel care se referă la valorile temperaturilor în spațiile locuite, denumit confort termic. Datorită diferențelor de temperatură dintre aer şi elementele de construcții are loc transferul căldurii prin conducție, convecție şi radiație (Fig. 5.1).

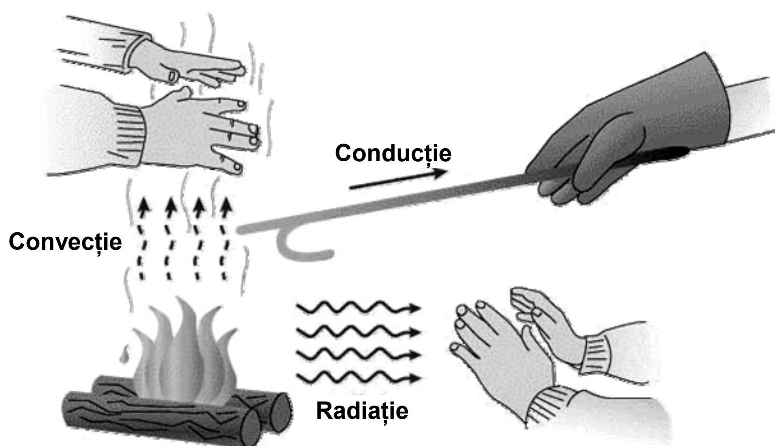


Fig. 5.1. Transferul căldurii prin conducție, convecție şi radiație

a. Transferul căldurii prin conducție constă în transmisia căldurii dintr-o regiune cu temperatură mai ridicată către o regiune cu temperatură mai scăzută, în interiorul unui mediu solid, lichid sau gazos, sau între medii diferite în contact fizic direct, sub influența unei diferențe de temperatură,

fără existența unei deplasări aparente a particulelor care alcătuiesc mediile respective. În construcții acest tip de transfer este întâlnit în special la corpurile solide (pereți, planşee, acoperişuri, tâmplărie etc.) şi se desfăşoară prin vibrația termică a rețelei cristaline şi, în cazul elementelor metalice, cu ajutorul electronilor liberi (de valență).

b. Transferul termic prin convecție reprezintă procesul de transfer al căldurii prin acțiunea combinată a conducției termice, a acumulării de energie şi a mişcării de amestec. Convecția este cel mai important mecanism de schimb de căldură între o suprafață solidă şi un fluid, între care există contact direct şi mişcare relativă. În construcții transferul convectiv are loc în special la lichide şi gaze şi se datorează transportului de căldura prin mişcarea moleculelor fluidelor. Fenomenul intervine la suprafața de contact a elementelor de construcții cu aerul interior sau exterior.

c. Transferul energiei termice prin radiație este procesul prin care căldura este transferată de la un corp cu temperatură ridicată la un corp cu temperatură scăzută, corpurile fiind separate în spațiu. Schimbul de căldură prin radiație se realizează de la distanță, fără contact direct între corpuri. Fenomenul are sens dublu: un corp radiază energie, dar şi absoarbe energia emisă sau reflectată de corpurile înconjurătoare. Radiația termică are loc sub formă de unde electromagnetice şi intervine în mod semnificativ la diferențe mari de temperatură între corpurile solide, sau între solide şi fluide, cum este în cazul elementelor de încălzire din locuințe (radiatoare).

Principalele noțiuni cu care se operează în cadrul problemelor legate de studiul fenomenelor de transfer termic sunt:

a. Temperatura – reprezintă o mărime scalară de stare, care caracterizează gradul de încălzire al corpurilor. Temperatura poate varia în timp şi spațiu

fiind, în cazul cel mai general, o funcţie de 4 variabile (trei variabile geometrice şi variabila timp): $T = f(x, y, z, \tau)$.

Ca unitate de măsură se utilizează gradele, care diferă funcţie de sistemul de măsură folosit: Kelvin (K), Celsius (ºC), Fahrenheit (ºF). În sistemul internaţional (SI) unitatea de măsură a temperaturii este Kelvinul.

b. Câmp termic – reprezintă totalitatea valorilor temperaturii ce caracterizează un anumit spaţiu (domeniu). Câmpul termic poate fi constant (staţionar sau permanent) sau variabil (nestaţionar sau tranzitoriu), după cum temperatura din fiecare punct este constantă sau variabilă în timp. De asemeni, câmpul termic este unidirecţional (Fig. 5.2), atunci când propagarea căldurii are loc în mod preponderent pe o singură direcţie, bidirecţional sau plan (Fig. 5.3), dacă propagarea căldurii are loc pe două direcţii şi tridirecţional sau spaţial (Fig. 5.4), în situaţia în care propagarea căldurii are loc pe toate cele trei direcţii în spaţiu.

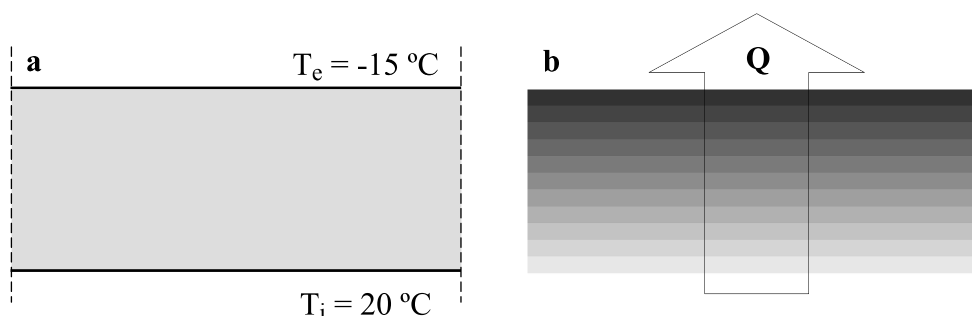


Fig. 5.2. Câmpul termic unidirecţional într-un perete (câmp curent)
a. perete exterior omogen; **b.** harta temperaturilor
(temperatura scade de la nuanţele deschise spre cele închise)

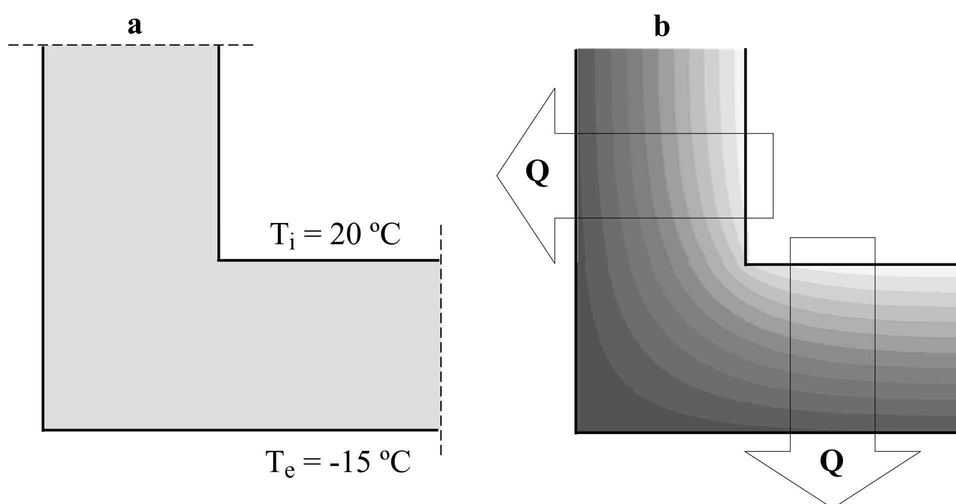


Fig. 5.3. Câmpul termic bidirecțional (plan) la colțul unui perete exterior
a. perete exterior omogen; **b.** harta temperaturilor
(temperatura scade de la nuanțele deschise spre cele închise)

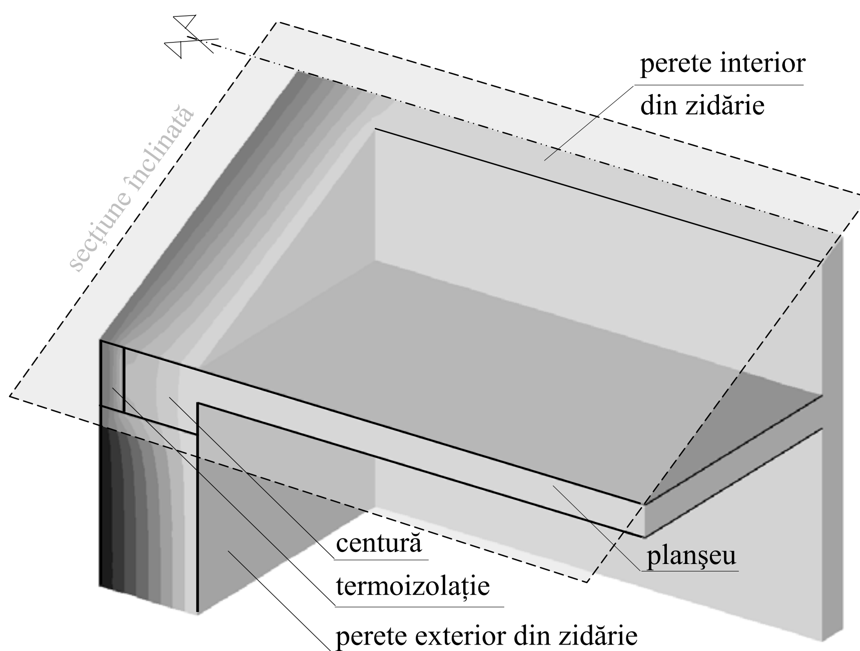


Fig. 5.4. Câmpul termic spațial pe grosimea unui perete exterior din zidărie
(temperatura scade de la nuanțele deschise spre cele închise)

c. Linie izotermă – este locul geometric al punctelor de egală temperatură, dintr-un câmp termic plan (Fig. 5.5). Deoarece un punct al unui corp nu poate avea simultan două valori diferite ale temperaturii, rezultă că liniile izoterme sunt continue şi nu se intersectează între ele.

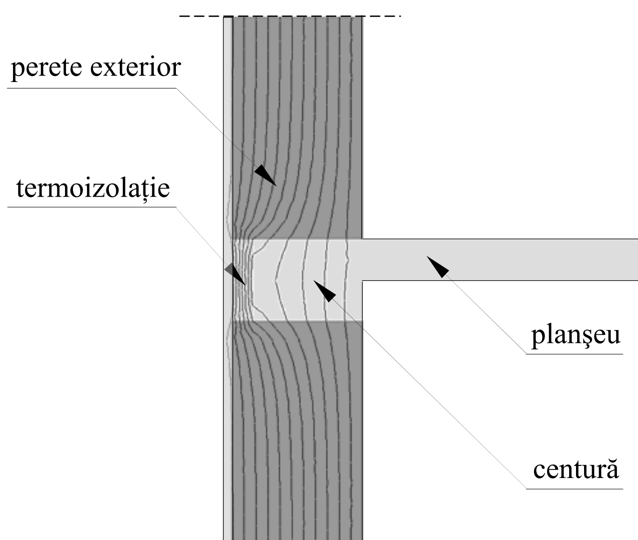


Fig. 5.5. Linii izoterme la intersecția unui perete exterior din zidărie cu planşeul

d. Suprafață izotermă – este locul geometric al punctelor dintr-un câmp termic spațial, ce se caracterizează prin aceeaşi valoare a temperaturii (Fig. 5.6). Suprafețele izoterme sunt continue şi nu se intersectează între ele, din acelaşi motiv ca în cazul liniilor izoterme. Suprafețele izoterme pot fi plane sau curbe.

e. Gradient de temperatură – este o măsură a variației temperaturii pe o anumită direcție din spațiul (domeniul) analizat. Mai riguros, gradientul de temperatură reprezintă limita raportului între diferența de temperatură ΔT şi

distanța Δx dintre două puncte, când $\Delta x \rightarrow 0$ (din punct de vedere matematic este derivata temperaturii în raport cu spațiul):

$$\text{grad } T = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{\Delta T}{\Delta x} = \frac{dT}{dx}$$

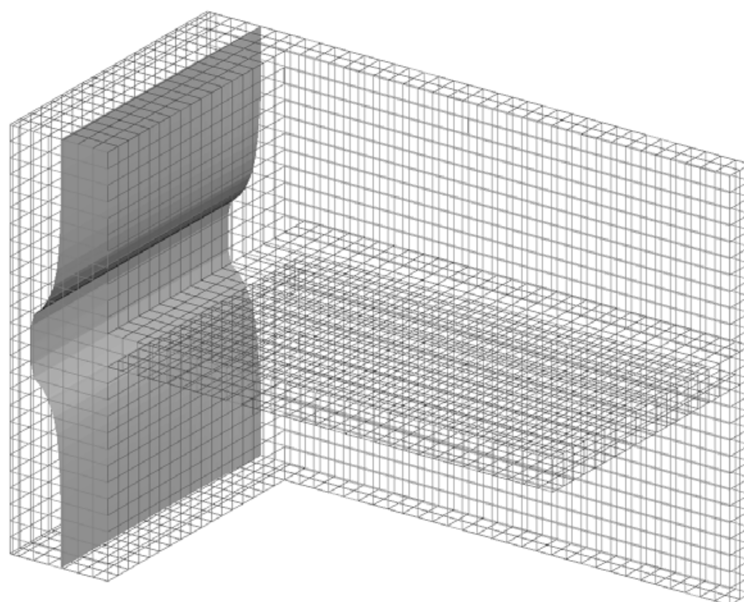


Fig. 5.6. Suprafață izotermă într-un perete exterior din zidărie, la intersecția cu planşeul (curbura spre exterior se datorează izolației termice suplimentare din dreptul centurii)

f. Cantitatea de căldură (Q) – reprezintă o cantitate de energie şi în SI se măsoară în Joule (J). Se pot folosi şi alte unități de măsură, cum ar fi Wh sau caloria (cal).

g. Fluxul termic sau debitul de căldură (Φ) – este cantitatea de căldură ce străbate o suprafață în unitatea de timp. Din punct de vedere matematic

reprezintă derivata cantității de căldură Q în raport cu timpul τ, şi se măsoară în J/h sau, mai uzual, în W:

$$\Phi = \frac{dQ}{d\tau}$$

h. Densitatea fluxului termic sau fluxul termic unitar (q) – reprezintă cantitatea de căldură care străbate unitatea de suprafață în unitatea de timp (Fig. 5.7). Fluxul unitar este o mărime vectorială, având direcția normală la suprafețele sau liniile izoterme şi se măsoară în W/m^2.

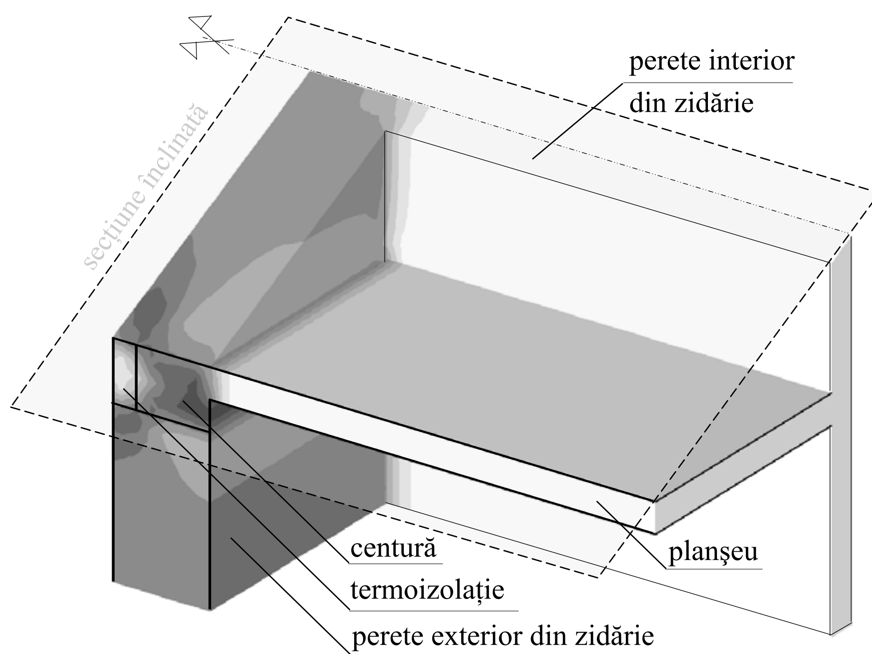


Fig. 5.7. Harta fluxului termic unitar pe grosimea unui perete exterior din zidărie
(nuanțele închise corespund valorilor mari ale fluxului)

5.2.2. Transferul căldurii prin conducție

5.2.2.1. Mecanismul fenomenului

La corpurile solide nemetalice (dielectrice), conducția termică se realizează prin vibrația termică a rețelei cristaline.

La corpuri solide metalice şi semiconductoare, conducția termică se realizează prin transferul de energie datorită vibrației termice a rețelei cristaline şi, pe de altă parte, cu ajutorul electronilor liberi (de valență). Contribuția electronilor liberi este de 10...30 de ori mai mare decât contribuția vibrației rețelei.

La corpurile lichide şi gazoase, conducție termică apare sub forma a două procese: ciocnirile elastice din aproape în aproape între molecule sau atomi, poziția reciprocă a acestora rămânând însă aceeaşi în spațiu, şi deplasarea electronilor liberi. În cazul particular al metalelor lichide şi electroliților, contribuția ultimului proces este de 10...1000 ori mai mare decât la lichidele nemetalice. Gazele, având o distribuție haotică a moleculelor, cu legături intermoleculare slabe şi distanțe mari între molecule, realizează cel mai redus transfer de căldură prin conducție.

La materialele poroase, des întâlnite în construcții, conducția termică nu mai apare în stare pură deoarece fluidele (aer, apă etc.) existente în capilare şi pori pot efectua mişcări în cazul unor dimensiuni corespunzătoare ale porilor. Astfel apare transfer termic prin convecție şi chiar prin radiație.

5.2.2.2. Legea lui Fourier

Relația de bază a transferului de căldură prin conducție a fost propusă de Fourier, prin legea care îi poartă numele, în cadrul lucrării *Théorie Analytique de la Chaleur*, publicată în 1822.



Fig. 5.8. Baronul Jean Baptiste Joseph Fourier (1768–1830)

Fiind dat un element de construcție omogen, de exemplu un perete exterior (Fig. 5.9), cantitatea de căldură transmisă în regim staționar şi unidirecțional (perpendicular pe element), pe baza ecuației lui Fourier, se poate estima cu relația:

$$Q = \lambda \frac{S.(T_{si} - T_{se}).\tau}{d} \tag{5.1}$$

unde: Q – cantitatea de căldură transmisă prin conducție (J sau Wh);

λ – coeficientul de conductivitate termică (W/mºC);

S – aria suprafeței elementului prin care se face transferul termic conductiv, perpendiculară pe direcția de propagare a căldurii (m^2);

T_{si}, T_{se} – temperaturile suprafeței interioare, respectiv exterioare a elementului (ºC sau K);

τ – timpul (h);

d – grosimea elementului (m).

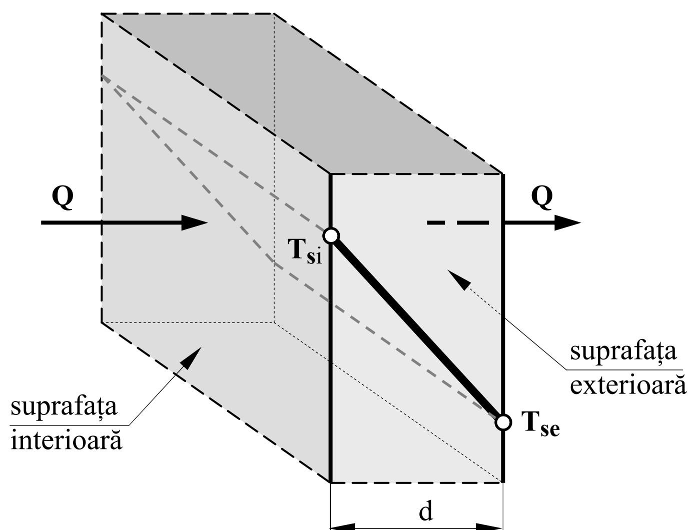


Fig. 5.9. Conducția termică în regim staționar, printr-un perete omogen. Variația temperaturii pe grosimea peretelui

Dacă în relația (5.1) se impune $S = 1\ m^2$, $T_{si} - T_{se} = 1\ ^oC$, $\tau = 1\ h$, $d = 1\ m$, atunci rezultă: $\lambda = Q$. În acest mod se poate defini coeficientul de conductivitate termică ca fiind mărimea numeric egală cu cantitatea de căldură ce trece printr-un element cu suprafața de $1\ m^2$, grosimea de 1 m, timp de o oră şi pentru o diferență de temperatură dintre cele doua suprafețe de 1 ºC sau 1 K.

Cu ajutorul relației lui Fourier se poate stabili atât modul de variație al temperaturii pe grosimea unui element, cât şi expresia temperaturii într-un punct oarecare (în regim termic unidirecțional şi staționar). Pentru aceasta, în cadrul peretelui omogen din Fig. 5.9 se consideră un strat de grosime infinit mică „dx" în care temperatura variază cu o cantitate „dT" (Fig. 5.10).

Expresia fluxului termic unitar (densității de flux), se poate obține prin împărțirea relației (5.1) la aria S şi la timpul τ, obținându-se relația (5.2).

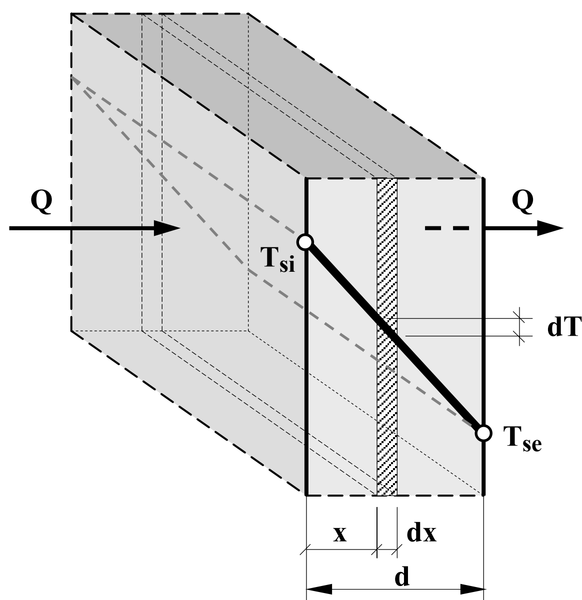


Fig. 5.10. Transmisia căldurii prin conducție la un perete omogen

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx} \tag{5.2}$$

unde: $\frac{dT}{dx}$ – gradientul de temperatură (ºC/m).

Semnul „–” din relația (5.2) indică faptul că fluxul termic are sens contrar creşterii temperaturii (căldura se transmite de la zonele mai calde spre zonele mai reci, conform principiului al II-lea al termodinamicii).

Pentru determinarea câmpului termic (deci a valorilor temperaturii în orice punct al peretelui) se integrează ecuația diferențială (5.2), pusă sub forma:

$$dT = -\frac{q}{\lambda} dx \tag{5.3}$$

Prin integrare se obține:

$$T = -\frac{q}{\lambda}x + C \tag{5.4}$$

în care: C – constantă de integrare.

Valorile temperaturilor pe suprafața interioară, respectiv exterioară a peretelui, sunt:

$$x = 0 \;\rightarrow\; T = T_{si} \tag{5.5a}$$

$$x = d \;\rightarrow\; T = T_{se} \tag{5.5b}$$

Înlocuind valorile din condiția (5.5a) în relația (5.4), se determină constanta de integrare C:

$$C = T_{si} \tag{5.6}$$

Cu ajutorul condiției (5.5b) şi a relațiilor (5.4) şi (5.6) se deduce:

$$T_{se} = -\frac{q}{\lambda}d + T_{si} \tag{5.7}$$

Din ultima relație se explicitează fluxul termic unitar:

$$q = \frac{\lambda}{d}(T_{si} - T_{se}) = \frac{\lambda}{d}\Delta T_s \tag{5.8}$$

Temperatura într-un punct oarecare din perete, situat la distanța „x” de suprafața interioară a acestuia (Fig. 5.10) se deduce cu ajutorul relațiilor (5.4), (5.6) şi (5.8):

$$T_x = C - \frac{q}{\lambda}x = T_{si} - \frac{\frac{\lambda}{d}\Delta T_s}{\lambda}x = T_{si} - \frac{\Delta T_s}{d}x \tag{5.9}$$

Relația (5.9) este o funcție de gradul I de variabilă „x” (geometric reprezintă ecuația unei drepte), prin care se pun în evidență două aspecte importante:

- în cazul unui element omogen temperatura variază liniar pe grosimea acestuia, în ipoteza regimului (câmpului) termic unidirecțional şi staționar;
- la o distanță oarecare „x” de suprafața elementului (Fig. 5.10) valoarea temperaturii este constantă în orice punct; cu alte cuvinte, într-un plan oarecare, paralel cu suprafețele elementului, temperatura este constantă. Acest lucru reiese şi din reprezentarea câmpului de temperaturi a peretelui (Fig. 5.11).

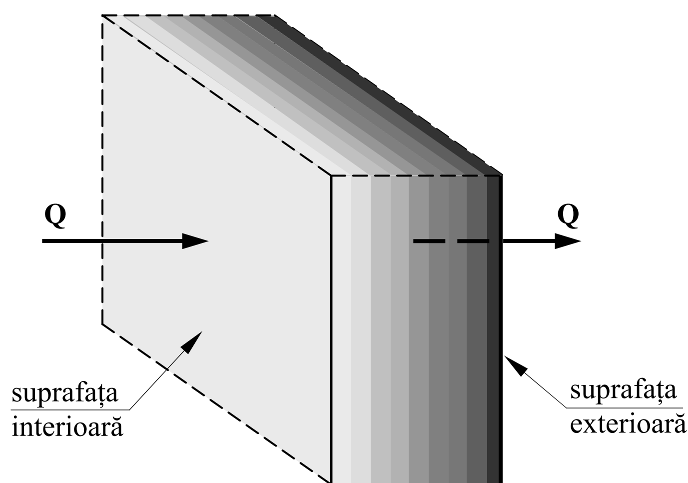


Fig. 5.11. Câmpul termic unidirecțional la un perete omogen

5.2.2.3. Coeficientul de conductivitate termică

Majoritatea materialelor de construcție, cu excepția celor compacte (metale, sticlă etc.), au o structură capilar–poroasă, alcătuită din cavități şi schelet rigid, ce poate lega apa sub diferite forme, la presiuni mai mici decât cele de

saturație din afara corpurilor. De asemeni, aerul şi apa migrează prin rețeaua de capilare şi pori. În consecință, căldura se transmite concomitent sub mai multe forme:

- conducție în scheletul solid şi în amestecul aer – apă din cavități;
- convecție locală a aerului şi apei datorită diferențelor de temperatură între fețele opuse ale pereților cavității;
- schimburi repetate de fază (evaporări, condensări) în cavități.

În aceste condiții este deosebit de dificilă evaluarea cantitativă a acestor fenomene pe baza unor relații simple. Ca urmare, aprecierea coeficientului de conductivitate termică, în aşa fel încât să reflecte complexitatea proceselor de transfer termic, nu se poate efectua decât experimental, determinându-se un coeficient echivalent, ce depinde de o multitudine de factori:

$$\lambda_{echiv} = f(T, U, \text{grad } T, \text{grad } U, d, ...) \qquad (5.10)$$

unde: T – temperatura absolută (K);
U – umiditatea materialului (%);
grad T, grad U – gradienții de temperatură şi de umiditate (ºC/m);
d – grosimea materialului (m).

Coeficientul de conductivitate termică λ (sau, mai scurt, conductivitatea termică) reprezintă o caracteristică termofizică de bază a fiecărui material şi depinde, în cazul general, de natura şi starea materialului, de temperatură şi de presiune. Pentru materialele de construcție curent folosite, acest coeficient are valori cuprinse între 0,04...3,0 W/mºC (cu excepția metalelor).

În Tabelul 5.1 sunt redate valorile coeficientului de conductivitate termică pentru câteva materiale de construcții des întâlnite.

Tabel 5.1. Coeficientul de conductivitate termică

Nr. crt.	Material	λ (W/mºC)
1	Polistiren expandat	0.044
2	Vată minerală	0,042 ... 0,05
3	Zidărie din b.c.a.	0,25...0,34
4	Zidărie din cărămizi cu goluri verticale	0,46...0,75
5	Zidărie din cărămizi pline	0,8
6	Lemn	0,17...0,41
7	Beton armat	1,62...2,03
8	Oțel	58,0
9	Aluminiu	220,0

Conductivitatea termică variază direct proporțional cu densitatea materialului. Din acest motiv materialele uşoare (polistirenul, vata minerală) au un coeficient λ mai mic şi deci proprietăți de izolare termică mai bune. De asemeni, coeficientul de conductivitate variază direct proporțional cu umiditatea (deoarece conductivitatea apei este considerabil mai mare – de cca. 20 de ori – decât cea a aerului), deci un material va avea proprietăți izolatoare mai bune cu cât va fi mai uscat.

5.2.3. Transmisia căldurii prin convecție

5.2.3.1. Mecanismul fenomenului

Transferul de căldură prin convecție, de exemplu de la suprafața mai caldă a unui element de încălzire (Fig. 5.12) la un fluid (aer) mai rece, are loc în câteva etape.

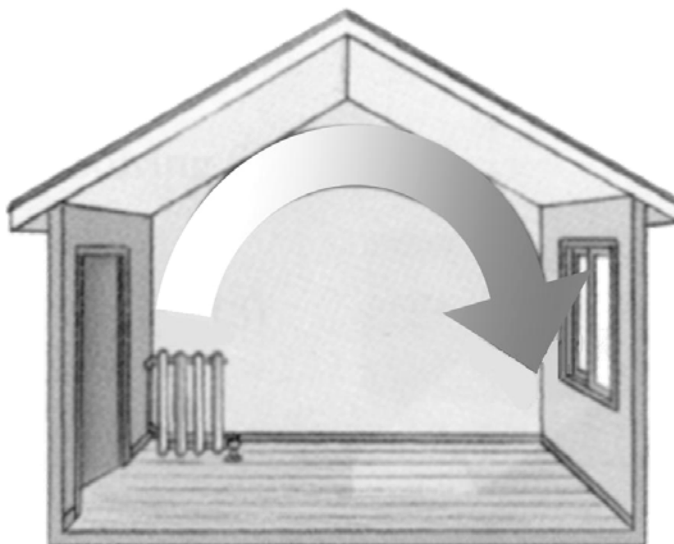


Fig. 5.12. Transferul căldurii prin convecție

Inițial, căldura trece prin conducție termică de la suprafața elementului la particulele de aer adiacente acestuia, ceea ce are ca efect ridicarea temperaturii (şi energiei interne) a acestor particule; acest proces se desfăşoară în stratul subțire de fluid de lângă suprafața elementului, denumit strat limită. În continuare, datorită încălzirii, aerul se dilată, îşi micşorează densitatea şi, devenind mai uşor, tinde să se ridice spre zonele superioare, formând un curent ascendent (curent convectiv). Locul acestui fluid este luat de fluidul mai rece din restul spațiului. Cu alte cuvinte, particulele cu

energie mai mare se deplasează către zone de fluid cu temperaturi mai scăzute, unde, prin amestec cu alte particule, transmit o parte din energia lor. Dacă temperatura radiatorului ar fi constantă în timp şi nu s-ar produce pierderi de căldură, acest proces ar continua până la egalizarea temperaturii aerului interior cu cea a elementului de încălzire. În vecinătatea elementelor de închidere cu temperatură scăzută (pereți exteriori, geamuri) sensul transferului termic se inversează, formându-se curenți convectivi descendenți (Fig. 5.12).

Convecția este astfel un transfer de energie, masă şi impuls. Energia este înmagazinată în particulele de fluid şi este transportată ca rezultat al mişcării acestora. Factorii care influențează convecția căldurii, determinând caracterul complex al acesteia, sunt: câmpul de temperatură din solid şi din fluid în vecinătatea suprafeței de contact, natura fluidului (densitate, căldură masică, vâscozitate, coeficient de conductivitate termică etc.), structura geometrică a sistemului în care fluidul se mişcă, natura şi modul de prelucrare al suprafețelor solidului etc.

Funcție de cauza mişcării, convecția se clasifică în convecție liberă sau naturală (mişcarea de amestec este rezultatul diferențelor de densitate produse de gradienții de temperatură), şi convecție forțată (mişcarea de amestec este rezultatul unor cauze externe care produc diferențe de presiune, ca de exemplu un ventilator).

5.2.3.2. Legea lui Newton

Calculul fluxului termic transmis prin convecție nu se poate efectua cu ajutorul legii lui Fourier, datorită imposibilității cunoaşterii complete a stratului limită şi a gradientului termic pe suprafața de contact dintre perete

şi fluid. Rezolvarea acestor dificultăți, pentru calculele practice, se face cu ajutorul legii lui Newton, care permite determinarea cantității de căldură şi a fluxului termic schimbat prin convecție între un solid şi un fluid.

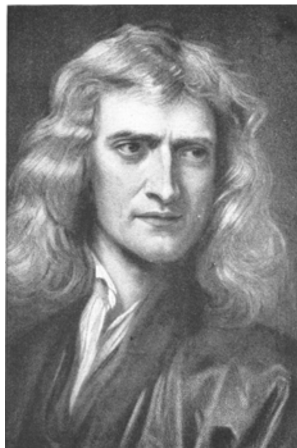


Fig. 5.13. Sir Isaac Newton (1642–1727)

Fiind dat un element, de exemplu un perete exterior, cantitatea de căldură primită (Q_c) sau cedată (Q'_c) prin convecție se determină cu relația lui Newton astfel:

$$Q_c = \alpha_c . S.(T_i - T_{si}).\tau \quad (5.11a)$$

$$Q'_c = \alpha'_c . S.(T_{se} - T_e).\tau \quad (5.11b)$$

unde: T_i, T_e – temperatura aerului interior, respectiv exterior (ºC);

T_{si}, T_{se} – temperatura suprafeței interioare, respectiv exterioare a peretelui (ºC);

α_c, α'_c – coeficientul de transfer termic prin convecție, la suprafața interioară, respectiv exterioară a peretelui (W/m^2 ºC);

S – suprafața prin care are loc transferul termic (m^2);

τ – timpul (h).

Coeficientul de transfer de suprafață α se defineşte, asemănător cu coeficientul de conductivitate termică λ, ca fiind mărimea numeric egală cu cantitatea de căldură primită sau cedată într-o oră, printr-o suprafață de 1 m^2, când diferența de temperatură dintre perete şi fluid este de 1 ºC.

5.2.3.3. Coeficientul de transfer termic de suprafață

Definirea cantitativă a transferului de căldură prin convecție cu ajutorul legii lui Newton face ca în coeficientul de convecție α_c să se reflecte majoritatea factorilor de care depinde procesul convectiv: tipul mişcării, regimul de curgere, proprietățile fizice ale fluidului, forma şi orientarea suprafeței de schimb de căldură. În felul acesta α_c devine o funcție complexă, cu multe variabile şi greu de determinat, de forma:

$$\alpha_c = f(\ell, v, T_p, T_f, \lambda, c_p, \rho, \nu, ...) \quad (5.12)$$

unde: ℓ – lungimea caracteristică a curgerii (m);

v – viteza de curgere (m/s);

T_p, T_f – temperatura peretelui, respectiv a fluidului (ºC sau K);

λ – coeficientul de conductivitate termică al fluidului (W/mºC);

c_p – căldura specifică a fluidului la presiune constantă (J/KgºC);

ρ – densitatea fluidului (Kg/m^3);

ν – vâscozitatea cinematică a fluidului (m^2/s).

Determinarea coeficientului de transfer termic prin convecție se poate face prin patru metode principale:

- determinări experimentale combinate cu analiza dimensională;
- soluțiile matematice exacte ale ecuațiilor stratului limită;

- analiza aproximativă a stratului limită prin metode integrale;
- analogia dintre transferul de căldură, masă şi impuls.

Toate aceste metode îşi aduc contribuţia la înţelegerea transferului de căldură convectiv. Cu toate acestea, nici una din metode nu poate rezolva singură toate problemele schimbului de căldură prin convecţie, deoarece fiecare procedeu are anumite limitări care restrâng utilizarea sa practică.

5.2.4. Transmisia căldurii prin radiaţie

5.2.4.1. Mecanismul fenomenului

Radiaţia este un fenomen de transport al energiei, care are drept suport undele electromagnetice. Radiaţia se propagă şi prin vid, deci poate să apară ca mod elementar de transfer termic independent de conducţie şi convecţie. Toate corpurile emit şi absorb radiaţii în proporţii diferite şi pe lungimi de undă caracteristice. Macroscopic, fenomenele radiante respectă principiile termodinamicii clasice.

La interacţiunea radiaţiilor cu un mediu material se evidenţiază efectul lor termic. Din punct de vedere energetic radiaţiile se comportă la fel, diferenţele apărând la lungimea de undă şi la efectele pe care le au asupra mediului ambiant.

Energia radiaţiilor provine din energia internă a corpurilor şi diferă de la un tip de radiaţie la altul. Cea mai mare cantitate de energie o transportă radiaţiile infraroşii. Efecte nocive asupra organismelor vii au radiaţiile cosmice, gama şi Röntgen. În doze mari şi celelalte radiaţii sunt periculoase, deoarece pot provoca arsuri.

Toate corpurile cu o temperatură diferită de zero absolut emit continuu energie sub formă de radiații. Radiațiile au un dublu caracter: ondulatoriu şi corpuscular. Energia şi impulsul sunt concentrate în fotoni, iar probabilitatea ca aceştia să se găsească într-un anumit loc din spațiu este definită prin noțiunea de undă.

Mecanismul de transformare a energiei termice în energie radiantă, pe baza interpretării lui Planck, se poate prezenta astfel: în urma unui şoc (dintre molecule, atomi, electroni liberi) în interiorul unui corp, electronii unui atom sunt scoşi temporar din starea de echilibru şi trec de la un nivel de energie la altul (de pe o orbită pe alta). La revenirea în poziția inițială (la nivelul de energie inițial), care reprezintă o stare de stabilitate mai mare, energia termică primită în urma şocului se eliberează sub forma undelor electromagnetice care sunt emise în spațiu. Acest fenomen are loc prin transferul energiei termice sub formă de unde electromagnetice şi apare între două sau mai multe corpuri ce prezintă diferențe mari de temperatură.

5.2.4.2. Relația lui Stefan–Boltzmann

Cantitatea de căldură transmisă de un corp prin radiație Q_r, conform relației lui Stefan–Boltzmann, este dată de expresia:

$$Q_r = c_r.S.\left(\frac{T}{100}\right)^4 \tau \qquad (5.13)$$

unde: c_r – coeficientul de radiație (W/m^2K^4);

S – aria suprafeței exterioare a corpului radiant (m^2);

T – temperatura absolută (K);

τ – timpul (h).



Fig. 5.14. Josef Stefan (1835–1893)



Fig. 5.15. Ludwig Boltzmann (1844–1906)

Coeficientul de radiație c_r reprezintă, din punct de vedere numeric, cantitatea de căldură radiată de 1 m^2 din suprafața unui material, într-o oră, la o temperatură a suprafeței radiante de 100 K.

Cantitatea de căldură transmisă prin radiație de la aerul interior la suprafața interioară a unui perete poate fi determinată cu relația:

$$Q_r = c_r . S . \left[\left(\frac{T_i}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{si}}{100} \right)^4 \right] . \tau \qquad (5.14)$$

unde T_i, T_{si} reprezintă temperatura aerului interior, respectiv temperatura suprafeței interioare a peretelui (K).

În mod analog, cantitatea de căldură transmisă prin radiație de la suprafața exterioară a unui perete la aerul exterior se poate exprima cu relația:

$$Q_r^{'} = c_r^{'} . S . \left[\left(\frac{T_{se}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_e}{100} \right)^4 \right] . \tau \qquad (5.15)$$

În relația (5.15) T_{se}, T_e reprezintă temperatura suprafeței exterioare a peretelui, respectiv temperatura aerului exterior (K).

Din punct de vedere al calculului practic este mai convenabil să se exprime cantitatea de căldură sub forma unei expresii care să conțină temperatura la puterea I-a. Acest lucru se poate obține printr-un artificiu matematic, înlocuind coeficienții de radiație c_r cu coeficienți echivalenți de radiație α_r, astfel:

$$Q_r = c_r.S.\left[\left(\frac{T_i}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{si}}{100}\right)^4\right].\tau = \alpha_r.S.(T_i - T_{si}).\tau \qquad (5.16a)$$

$$Q_r^{'} = c_r^{'}.S.\left[\left(\frac{T_{se}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_e}{100}\right)^4\right].\tau = \alpha_r^{'}.S.(T_{se} - T_e).\tau \qquad (5.16b)$$

în care:

$$\alpha_r = \frac{c_r.\left[\left(\frac{T_i}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{si}}{100}\right)^4\right]}{T_i - T_{si}}; \quad \alpha_r^{'} = \frac{c_r^{'}.\left[\left(\frac{T_{se}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_e}{100}\right)^4\right]}{T_{se} - T_e} \qquad (5.17)$$

5.2.5. Noțiunea de rezistență termică unidirecțională

Prin rezistență termică se înțelege capacitatea unui element de construcție de a se opune propagării căldurii, deci de a diminua fluxul termic ce-l traversează.

Câmpul termic şi câmpul electric sunt fenomene analoge. Aceasta înseamnă că cele două tipuri de fenomene respectă ecuații cu forme similare şi au condiții la limită similare. Ecuațiile care descriu comportarea unui sistem termic pot fi transformate în ecuațiile caracteristice unui sistem electric, şi invers, prin simpla schimbare a variabilelor.

Astfel, legea lui Ohm, care exprimă în electrotehnică legătura între intensitatea I a curentului, diferenţa de tensiune ΔU şi rezistenţa electrică R_e, are o formă analogă în transferul de căldură prin relaţia dintre fluxul termic unitar q, diferenţa de temperatură ΔT şi o mărime denumită rezistenţă termică (unidirecţională) R, conform relaţiilor:

$$I = \frac{\Delta U}{R_e} \text{ (câmpul electric)} \Leftrightarrow q = \frac{\Delta T}{R} \text{ (câmpul termic)} \qquad (5.18)$$

În consecinţă, relaţia de calcul pentru rezistenţa termică a unui element este, prin definiţie:

$$\boxed{R = \frac{\Delta T}{q}} \quad (m^2\,^{\circ}C/W) \qquad (5.19)$$

unde: q – fluxul termic unitar ce străbate elementul (W/m^2);

ΔT – diferenţa de temperatură (căderea totală a temperaturii) între cele două medii (aerul exterior şi interior) care mărginesc elementul respectiv (ºC).

Prin aplicarea relaţiei (5.19) în cazul celor trei moduri fundamentale de transfer a căldurii, se obţin expresiile particularizate ale rezistenţei termice în cazul conducţiei, convecţiei şi radiaţiei.

În cazul transferului termic unidirecţional prin conducţie, rezistenţa termică a unui element omogen, de grosime „d”, va fi:

$$R = \frac{\Delta T}{q} = \frac{\Delta T}{\frac{\lambda}{d}\Delta T} = \frac{d}{\lambda} \qquad (5.20)$$

În ceea ce priveşte transmisia termică prin convecţie şi radiaţie, trebuie observat că, la nivelul calculului, cele două forme de transfer se pot cumula.

Astfel, fluxul termic unitar total dintre un element de construcţie şi un fluid va fi egal cu suma fluxurilor unitare prin convecţie şi prin radiaţie:

$$q = q_c + q_r = \alpha_c (T_s - T_f) + \alpha_r (T_s - T_f) = \\ = (\alpha_c + \alpha_r)(T_s - T_f) = \alpha.\Delta T \qquad (5.21)$$

unde: q – fluxul unitar total (datorită convecţiei şi radiaţiei) dintre element şi fluid (W/m^2);

q_c – fluxul unitar transmis prin convecţie (W/m^2);

q_r – fluxul unitar transmis prin radiaţie (W/m^2);

α_c – coeficientul de transfer termic superficial, prin convecţie ($W/m^2\,^oC$);

α_r – coeficientul de transfer termic superficial, prin radiaţie ($W/m^2\,^oC$);

α – coeficientul de transfer termic superficial (total): $\alpha = \alpha_c + \alpha_r$ ($W/m^2\,^oC$);

T_s, T_f – temperatura la suprafaţa solidului, respectiv în fluid (^oC).

Ca urmare, rezistenţa termică superficială, datorită schimbului de căldură prin convecţie şi radiaţie între fluid şi element, este:

$$R_s = \frac{\Delta T}{q} = \frac{\Delta T}{\alpha.\Delta T} = \frac{1}{\alpha} \qquad (5.22)$$

Aplicând ultima relaţie pentru suprafaţa interioară, respectiv exterioară a unui element, se obţine:

$$R_i = \frac{1}{\alpha_i}; \qquad R_e = \frac{1}{\alpha_e} \qquad (5.23)$$

unde: R_i – rezistenţa termică superficială la suprafaţa interioară a elementului ($m^2\,^oC/W$);

R_e – idem, la suprafaţa exterioară a elementului ($m^2\,^oC/W$);

α_i – coeficientul de transfer termic superficial la suprafața interioară (W/m^2 ºC);

α_e – idem, la suprafața exterioară (W/m^2 ºC).

5.2.6. Transmisia căldurii prin conducție la structuri în mai multe straturi paralele

Fie un element de construcție exterior (de exemplu un perete), alcătuit din mai multe straturi de grosimi d_1, d_2, d_3, ... şi având conductivitățile termice λ_1, λ_2, λ_3, ... (Fig. 5.16).

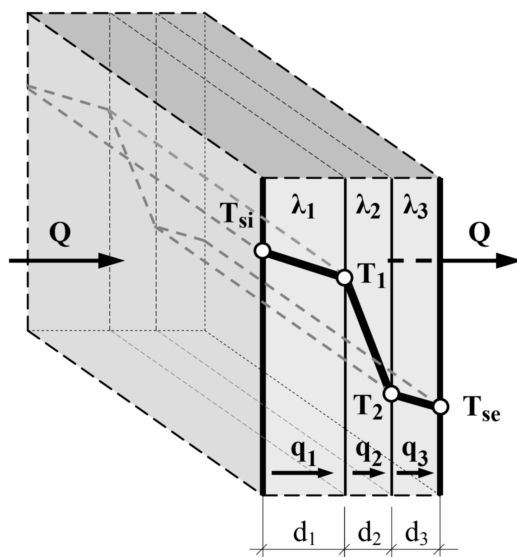


Fig. 5.16. Transmisia căldurii prin conducție la structuri în mai multe straturi paralele

Densitățile fluxului termic (fluxurile termice unitare) în cele trei straturi sunt:

$$q_1 = \frac{\lambda_1}{d_1}(T_{si} - T_1); \quad q_2 = \frac{\lambda_2}{d_2}(T_1 - T_2); \quad q_3 = \frac{\lambda_3}{d_3}(T_2 - T_{se}) \qquad (5.24)$$

Regimul termic fiind considerat staționar, fluxul termic va fi constant (egal în toate straturile: $q_1 = q_2 = q_3 = q$). Explicitând diferențele de temperatură din relațiile (5.24) se poate scrie:

$$T_{si} - T_1 = q\frac{d_1}{\lambda_1}; \quad T_1 - T_2 = q\frac{d_2}{\lambda_2}; \quad T_2 - T_{se} = q\frac{d_3}{\lambda_3} \tag{5.25}$$

Prin adunarea relațiilor (5.25), membru cu membru, se obține diferența totală de temperatură (diferența dintre temperaturile suprafețelor):

$$T_{si} - T_{se} = q\left(\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3}\right) \tag{5.26}$$

Conform rel. (5.20), rapoartele dintre grosimile straturilor şi conductivitățile termice ale acestora reprezintă rezistențele termice unidirecționale ale fiecărui strat. Rezistența termică totală va fi egală cu suma rezistențelor termice ale straturilor componente:

$$\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} = R_1 + R_2 + R_3 = R \tag{5.27}$$

Din expresiile (5.26) şi (5.27) se poate deduce relația fluxului termic unitar:

$$q = \frac{T_{si} - T_{se}}{\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3}} = \frac{T_{si} - T_{se}}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{\Delta T_s}{R} \tag{5.28}$$

Temperatura T_1 de la suprafața de contact dintre primele două straturi (Fig. 5.16) se poate calcula pornind de la prima relație (5.25), folosind şi relația (5.28):

$$T_1 = T_{si} - q\frac{d_1}{\lambda_1} = T_{si} - q.R_1 = T_{si} - \frac{\Delta T_s}{R}R_1 = T_{si} - \frac{R_1}{R}\Delta T_s \tag{5.29}$$

Temperatura T_2 de la suprafața de contact dintre ultimele două straturi (Fig. 5.16) se poate calcula folosind primele doua relații (5.25) şi relația (5.28):

$$T_2 = T_1 - q\frac{d_2}{\lambda_2} = T_{si} - q\frac{d_1}{\lambda_1} - q\frac{d_2}{\lambda_2} = T_{si} - q\left(\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2}\right) =$$
$$= T_{si} - q(R_1 + R_2) = T_{si} - \frac{\Delta T_s}{R}(R_1 + R_2) = T_{si} - \frac{R_1 + R_2}{R}\Delta T_s \quad (5.30)$$

Prin generalizarea relației (5.30), temperatura într-un plan vertical situat la distanța "x" de suprafața interioară a peretelui va avea expresia:

$$T_x = T_{si} - q.R_x = T_{si} - \frac{\Delta T_s}{R}R_x = T_{si} - \frac{R_x}{R}\Delta T_s \quad (5.31)$$

unde: R_x – rezistența termică a stratului de grosime „x” ($m^2\,^oC/W$).

5.2.7. Transferul global de căldură

În cadrul proceselor de schimb termic căldura se transmite de cele mai multe ori simultan prin două sau prin toate cele trei tipuri de transfer. Numeroase aplicații tehnice presupun, de exemplu, schimbul de căldură între două fluide separate de un perete despărțitor, astfel încât transmisia căldurii se desfăşoară prin conducție, convecție şi radiație termică.

Fiind dat un perete omogen de grosime „d” (Fig. 5.17), transmisia căldurii de la interior spre exterior se realizează în trei etape:

a) transmisia de la aerul interior cu temperatura T_i, la suprafața interioară cu temperatura T_{si}, prin convecție şi radiație; în acest caz, fluxul termic unitar este:

$$q_1 = \alpha_i(T_i - T_{si}) \quad (5.32)$$

b) transmisia în masa (pe grosimea) elementului, prin conducție:

$$q_2 = \frac{\lambda}{d}\left(T_{si} - T_{se}\right) \qquad (5.33)$$

c) transmisia de la suprafața exterioară cu temperatura T_{se} la aerul exterior cu temperatura T_e, prin convecție şi radiație:

$$q_3 = \alpha_e\left(T_{se} - T_e\right) \qquad (5.34)$$

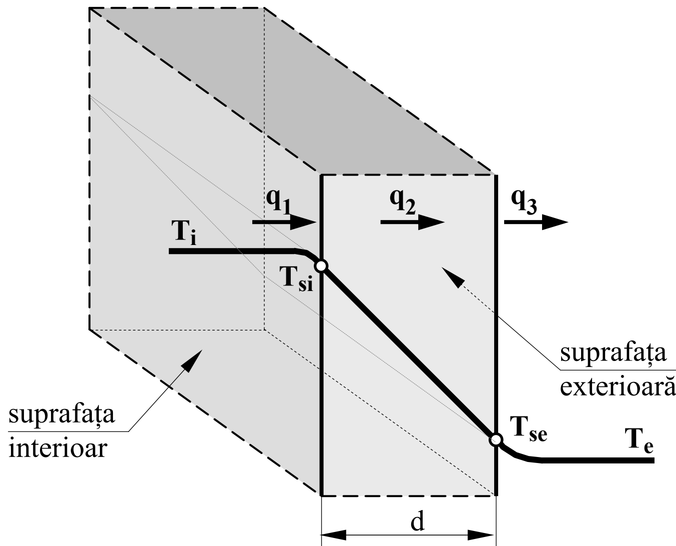


Fig. 5.17. Transmisia globală a căldurii printr-un element omogen

În cazul regimului termic staționar, cele trei fluxuri sunt egale: $q_1 = q_2 = q_3 = q$.
În consecință, relațiile (5.32), (5.33) şi (5.34) se pot scrie:

$$T_i - T_{si} = \frac{q}{\alpha_i}; \qquad T_{si} - T_{se} = q\frac{d}{\lambda}; \qquad T_{se} - T_e = \frac{q}{\alpha_e} \qquad (5.35)$$

Prin adunarea celor trei relații (5.35), membru cu membru, se obține:

$$T_i - T_e = q\left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}\right) \Rightarrow q = \frac{T_i - T_e}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}} = \frac{T_i - T_e}{R_i + R + R_e} = \frac{\Delta T}{R} \quad (5.36)$$

Rezistența termică totală (globală) la transmisia căldurii, printr-un element omogen, va avea deci expresia:

$$R_0 = R_i + R + R_e = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e} \quad (5.37)$$

Prin inversarea rezistenței termice globale se defineşte coeficientul global de transfer termic, măsurat în $W/m^2\,{}^{o}C$, ce reprezintă cantitatea totală de căldură ce trece printr-un perete cu suprafață de 1 m^2 şi grosimea „d", timp de o oră, la o diferență de temperatură dintre aerul interior şi cel exterior de 1ºC (sau 1 K), în regim termic staționar:

$$U_0 = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_i + R + R_e} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad (5.38)$$

În cazul unui element alcătuit din mai multe straturi paralele între ele şi perpendiculare pe direcția fluxului termic, expresiile rezistenței termice şi a coeficientului de transfer termic vor fi:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_i} + \sum_{j=1}^{n} \frac{d_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_e} = R_i + \sum_{j=1}^{n} R_j + R_e \quad (5.39)$$

$$U_0 = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{j=1}^{n} \frac{d_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_e}} = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^{n} R_j + R_e} \quad (5.40)$$

5.2.8. Transmisia căldurii prin conducție în regim nestaționar

5.2.8.1. Ecuația diferențială a conducției termice

Datorită variațiilor în timp ale temperaturii, atât la exteriorul cât şi la interiorul clădirilor, are loc şi o variație a temperaturii elementelor de construcții. În această situație avem de-a face cu un regim termic nestaționar (variabil). Fluxul termic, care de această dată este o mărime variabilă, se poate scrie conform relației lui Fourier (în cazul câmpului termic unidirecțional):

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad \Rightarrow \quad \frac{dq}{dx} = -\lambda \frac{d^2T}{dx^2} \qquad (5.41)$$

Cantitatea elementară de căldura dq necesară pentru creşterea temperaturii stratului dx cu dT grade, într-un interval de timp dτ este proporțională cu capacitatea de acumulare termică a stratului şi cu variația temperaturii în timp, conform relației:

$$dq = -c_p.\rho.dx\frac{dT}{d\tau} \quad \Rightarrow \quad \frac{dq}{dx} = -c_p.\rho\,\frac{dT}{d\tau} \qquad (5.42)$$

Din expresiile (5.41) şi (5.42) rezultă:

$$-\lambda\frac{d^2T}{dx^2} = -c_p.\rho\frac{dT}{d\tau} \quad \Rightarrow \quad \frac{d^2T}{dx^2} = \frac{c_p.\rho}{\lambda}\,\frac{dT}{d\tau} = \frac{1}{a}\,\frac{dT}{d\tau} \qquad (5.43)$$

unde: c_p – căldura specifică a materialului din care este alcătuit elementul (cantitatea de căldură necesară pentru a ridica temperatura unui kilogram de material cu un grad) (J/Kg ºC);

ρ – densitatea materialului (Kg/m^3);

a – coeficientul de difuzivitate termică, egal prin definiție cu raportul $\lambda/c_p\rho$ (m^2/s).

În concluzie, pentru regimul termic nestaționar unidirecțional, ecuația diferențială a câmpului termic va fi:

$$\frac{d^2T}{dx^2} = \frac{1}{a}\frac{dT}{d\tau} \tag{5.44}$$

În cazul câmpurilor termice plane, respectiv spațiale, ecuația (5.44) devine:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{1}{a}\frac{\partial T}{\partial \tau} \tag{5.45a}$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{a}\frac{\partial T}{\partial \tau} \tag{5.45b}$$

Pentru cazul general al elementelor neomogene şi anizotrope, în regim termic nestaționar spațial, cu surse termice interioare, ecuația căldurii are forma:

$$\boxed{\begin{aligned} &\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda(x,y,z,\tau)\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda(x,y,z,\tau)\frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda(x,y,z,\tau)\frac{\partial T}{\partial z}\right) + \\ &\qquad + \sum_i q_i(x,y,z,\tau) = \frac{\partial}{\partial \tau}\left[c(x,y,z,\tau).\rho(x,y,z,\tau).T(x,y,z,\tau)\right] \end{aligned}} \tag{5.46}$$

unde: $q(x,y,z,\tau)$ – fluxul termic unitar al surselor interne de căldură (W/m^2).

5.2.8.2. Mărimi caracteristice privind regimul termic variabil

a. Noțiunea de asimilare termică

În cazul regimului termic nestaționar este importantă proprietatea materialelor de a absorbi şi ceda căldura, ca urmare a variațiilor periodice ale fluxului termic.

Prin cercetări experimentale s-a demonstrat că fluxul termic are o variație apropiată de o sinusoidă, cu perioada P de o zi, o lună, un an etc. (Fig. 5.18).

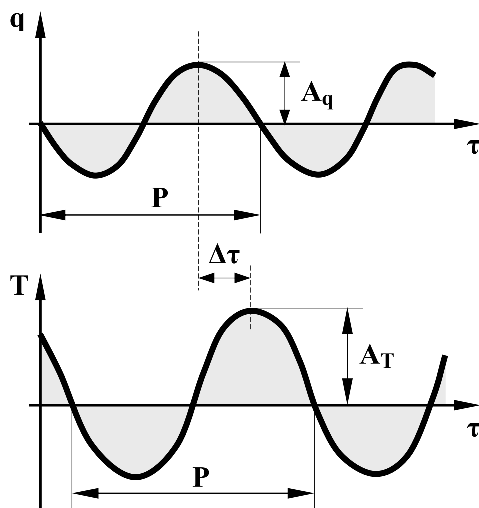


Fig. 5.18. Variațiile sinusoidale ale fluxului termic şi ale temperaturii

Sub acțiunea variației fluxului termic unitar q are loc o variație a temperaturii T a elementului de construcție. Din punct de vedere matematic, asimilarea căldurii de către materiale este exprimată prin raportul între amplitudinea A_q a fluxului şi amplitudinea A_T a temperaturii:

$$s = \frac{A_q}{A_T} = \frac{q_{max} - q_{med}}{T_{max} - T_{med}} \tag{5.47}$$

unde: s – coeficient de asimilare termica ($W/m^2\,^oC$);

q_{max}, q_{med} – fluxul unitar maxim, respectiv mediu (W/m^2);

T_{max}, T_{med} – temperatura maximă, respectiv medie (ºC).

Coeficientul s depinde de conductivitatea termică a materialului λ, de căldura specifică c_p, de densitatea aparentă ρ, de perioada P şi practic se poate calcula cu o relație de forma:

$$s = \sqrt{\frac{2\pi}{P}\lambda c_p \rho} \qquad (5.48)$$

b. Indicele de inerție termică

Pentru aprecierea capacității de acumulare şi cedare a căldurii de către un element s-a introdus o mărime denumită indicele de inerție termică (D), ce se determină cu ajutorul relațiilor (notațiile fiind cele cunoscute):

- elemente omogene: $D = R.s$ (5.49)
- elemente în straturi: $D = \sum_k R_k.s_k$ (5.50)

Funcție de valoarea indicelui de inerție, elementele de construcții cu rol de izolare termică se pot clasifica în:

- elemente cu masivitate mică: $D \leq 4$;
- elemente cu masivitate mijlocie: $4 < D \leq 7$;
- elemente cu masivitate mare: $D > 7$.

c. Coeficientul de amortizare termică

Prin coeficient de amortizare a amplitudinii oscilațiilor temperaturii aerului exterior, notat cu ν, se înțelege raportul dintre amplitudinea variației

temperaturii aerului exterior (A_{Te}) şi amplitudinea variației temperaturii suprafeței interioare a elementului (A_{Tsi}):

$$\nu = \frac{A_{Te}}{A_{Tsi}} \tag{5.51}$$

Practic, coeficientul de amortizare reflectă capacitatea unui element de a atenua variațiile de temperatură ale aerului exterior (Fig. 5.19) în vederea realizării unor condiții bune de confort termic în încăperi. Acest indice trebuie luat în considerare atât în condiții de vară, cât şi în condiții de iarnă.

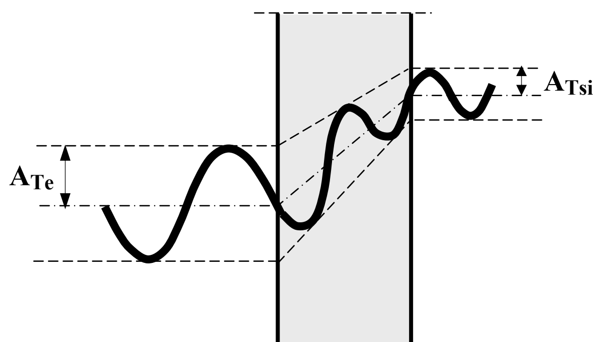


Fig. 5.19. Amortizarea oscilațiilor termice

În cadrul Normativului C 107/7–02 este descrisă o metodologie practică de calcul a coeficientului de amortizare termică, bazată pe rezolvarea analitică a ecuației diferențiale a căldurii în regim nestaționar unidirecțional (valabilă pentru câmpul curent al elementelor). Metoda este grevată de o serie de ipoteze simplificatoare, motiv pentru care precizia rezultatelor obținute lasă de dorit.

O posibilitate mult mai precisă de calcul este modelarea cu ajutorul unui program capabil să rezolve probleme de câmp termic în regim variabil.

O serie de studii efectuate la pereți din panouri mari prefabricate au arătat că valorile obținute pentru coeficientul de amortizare prin modelare numerică, în raport cu cele determinate cu relațiile din Normativul C 107/7–02 (ambele în regim unidirecțional), au fost mai mici cu cca. 30...40%. În plus, valorile obținute prin modelare numerică în zonele punților termice indică valori mai mici de cca. 4...5 ori față de cele obținute prin modelare în câmp curent, şi de cca. 6 ori mai mici în raport cu valorile calculate cf. C 107/7–02.

d. Coeficientul de defazare termică

Reprezintă capacitatea elementelor de construcții de a întârzia oscilațiile temperaturii aerului exterior. În perioada sezonului cald temperatura exterioară creşte la valori maxime în jumătatea a doua a zilei. O defazare termică corespunzătoare va face ca valul de căldură datorat temperaturilor ridicate să poată fi întârziat, astfel încât sa ajungă în interiorul clădirii pe timpul nopții, când temperatura aerului exterior scade şi se poate utiliza aerisirea prin deschiderea geamurilor. Întârzierea undei termice trebuie să fie, conform normativelor în vigoare, de minim 8 ore la pereții exteriori şi la planşeele situate sub poduri, şi de minim 10 ore la planşeele acoperişurilor terasă, întrucât suportă o perioadă de însorire mai mare.

Metodologie de calcul a coeficientului de defazare termică este descrisă în cadrul Normativului C 107/7–02, fiind bazată pe rezolvarea analitică a ecuației diferențiale a căldurii în regim nestaționar unidirecțional.

Teste efectuate asupra comportării termice a unor panouri mari au relevat că valorile coeficientului de defazare, calculate cf. Normativului C 107/7–02, sunt cu cca. 6% mai mari decât cele obținute prin modelarea numerică a câmpului termic unidirecțional, dar cu cca. 40% mai mari decât valoarea medie din zona punților termice, rezultată prin modelarea numerică a

câmpului termic plan. Pentru alte cazuri studiate, coeficientul de defazare calculat cf. Normativului C 107/7–02 a rezultat cu cca. 30% mai mic decât cel obținut prin modelare numerică în regim unidirecțional.

5.2.9. Condiții de unicitate

Relațiile matematice care guvernează fenomenele de transfer termic nu pot fi utilizate în rezolvarea practică a unui caz sau altul deoarece, din punct de vedere matematic, conduc la o infinitate de soluții ce diferă între ele prin una sau mai multe constante de integrare. Din acest motiv, pentru fiecare situație se atașează o serie de condiții ce definesc particularitățile cazului respectiv, numite condiții de unicitate sau condiții la limită.

Condițiile de unicitate sunt numeroase şi de diverse tipuri, cele mai importante dintre ele fiind descrise în continuare.

a) Condiții geometrice, care definesc forma geometrică şi dimensiunile elementului (domeniului) în care se desfăşoară procesul de transfer de căldură (perete, planşeu etc.).

b) Condiții inițiale, care stabilesc valorile temperaturii în interiorul elementului la momentul inițial $\tau = 0$. În cazul general această condiție poate fi exprimată analitic sub forma $T_o = f(x,y,z)$ la timpul $\tau = 0$. Cazul cel mai simplu îl constituie distribuția uniformă de temperatură $T = T_o = const.$

c) Condiții de contur (de frontieră), care definesc legăturile elementului cu mediul ambiant, din punct de vedere termic (Fig. 5.20):

- condițiile de primul tip (de speța I-a, sau condiții Dirichlet) se referă la cunoaşterea valorilor temperaturii pe suprafața corpului (sau pe o anumită zonă din suprafață), în fiecare moment τ:

$$T_s = f(x,y,z,\tau) \text{ – cunoscute} \qquad (5.52)$$

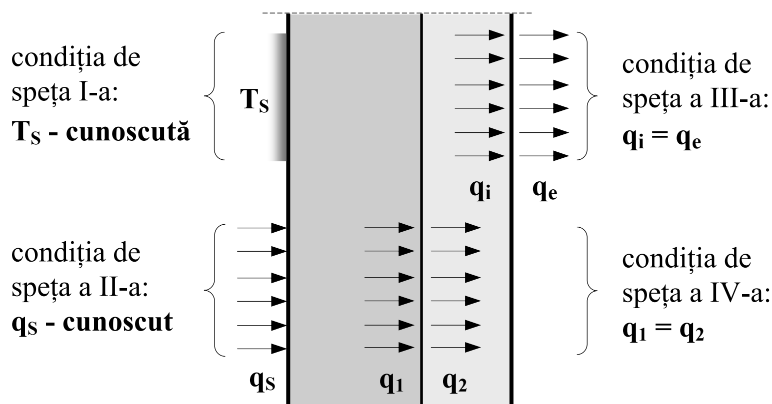


Fig. 5.20. Condiții de contur la un perete bistrat

- condițiile de al doilea tip (de speța a II-a, sau condiții Neumann) definesc valorile fluxului termic unitar la suprafața corpului (sau pe o parte din suprafață), pentru orice τ:

$$q_S = f(x,y,z,\tau) \text{ – cunoscute} \tag{5.53}$$

- condițiile de al treilea tip (de speța a III-a, sau condiții Fourier) implică cunoaşterea temperaturii mediului ambiant, în particular a aerului din interiorul şi din exteriorul unei clădiri, şi legea după care se desfăşoară transferul de căldură între suprafața unui element şi mediul înconjurător. Dacă se consideră o arie egală cu unitatea pe suprafața elementului atunci, potrivit legii conservării energiei, cantitatea de căldură transferată prin conducție prin element, care traversează aria unitară, este egală cu cantitatea de căldură preluată prin convecție şi radiație de către fluidul din vecinătatea elementului, de pe aceeaşi arie unitară, adică:

$$-\lambda \frac{dT}{dx} = \alpha\,(T_s - T_f) \tag{5.54}$$

unde: λ – coeficientul de conductivitate termică (W/m°C);

$\frac{dT}{dx}$ – gradientul de temperatură (ºC/m);

α – coeficientul de transfer termic superficial (W/m^2 ºC);

T_s – temperatura la suprafața corpului (ºC);

T_f – temperatura fluidului (ºC).

Membrul stâng al relației (5.54) reprezintă fluxul termic unitar q_i (Fig. 5.20) ce iese din element, transmis prin conducție (conform relației lui Fourier), iar membrul drept fluxul termic unitar q_e (Fig. 5.20) ce se propagă în continuare prin convecție şi radiație în fluidul ce mărgineşte corpul (conform relației lui Newton), ecuația exprimând egalitatea acestor fluxuri conform principiului conservării energiei.

- condițiile de al patrulea tip (de speța a IV-a) definesc procesul de conducție la frontiera comună dintre două zone ale elementului, cu caracteristici fizice (termice) diferite. În acest caz, dacă se consideră contactul perfect, se poate scrie egalitatea dintre fluxul unitar q_1 (Fig. 5.20) ce iese din prima zonă cu fluxul unitar q_2 (Fig. 5.20) ce intră în cea de a doua zonă, conform relației:

$$\lambda_1\left(\frac{dT}{dx}\right)_1 = \lambda_2\left(\frac{dT}{dx}\right)_2 \qquad (5.55)$$

unde: λ_1, λ_2 – coeficienții de conductivitate termică ai celor două zone (straturi) vecine (W/mºC);

$\frac{dT}{dx}$ – gradientul de temperatură la suprafața de contact, pentru fiecare zonă (ºC/m).

5.2.10. Rezolvarea numerică a problemelor de câmp termic

5.2.10.1. Generalități

Din deceniul al şaselea al secolului trecut, în domeniul cercetării ştiințifice a început să se contureze o nouă tendință, aceea de a folosi un anumit tip de metode aproximative, denumite metode sau tehnici numerice. Aşa au apărut metoda diferențelor finite (FDM), metoda elementelor finite (FEM), metoda elementelor de frontieră (BEM) etc.

În esență, toate metodele numerice transformă ecuația diferențială sau sistemul de ecuații diferențiale ce caracterizează un anumit fenomen (ecuații de ordin superior, ce nu pot fi în general rezolvate prin mijloace directe, analitice) într-un sistem liniar de ecuații algebrice uşor de soluționat. În cazul modelării câmpului termic ecuația diferențială cu care se lucrează este ecuația căldurii (rel. 5.46), pusă sub o formă sau alta funcție de tipul câmpului termic studiat, considerată împreună cu condițiile de unicitate corespunzătoare (pct. 5.2.9). Ecuația diferențială împreună cu condițiile la limită aferente poartă numele de problemă la limită.

Practic, toate metodele numerice se bazează pe un proces numit „discretizare”, ce constă in „fragmentarea” (divizarea, descompunerea) obiectului modelat şi pe determinarea valorilor necunoscute (temperaturi, fluxuri unitare) în nodurile şi elementele rețelei de discretizare.

Deşi aproximative, aceste modalități de calcul converg cu suficientă rapiditate spre soluția exactă, astfel încât, dacă se respectă anumite condiții minime de rigoare, rezultatele obținute sunt de bună calitate.

5.2.10.2. Metoda diferențelor finite

Constă în înlocuirea derivatelor funcției de temperatură din cadrul ecuației căldurii (rel. 5.46) cu diferențe de temperaturi, care definesc în mod aproximativ funcția căutată prin valorile sale în diferite puncte.

Practic, domeniul de definire al funcției se înlocuieşte cu un sistem discret, respectiv cu un ansamblu de puncte. În acest scop domeniul (zona) din cadrul elementului analizat se acoperă cu o rețea ortogonală de linii, la intersecțiile cărora se consideră punctele de discretizare, numite noduri (Fig. 5.21).

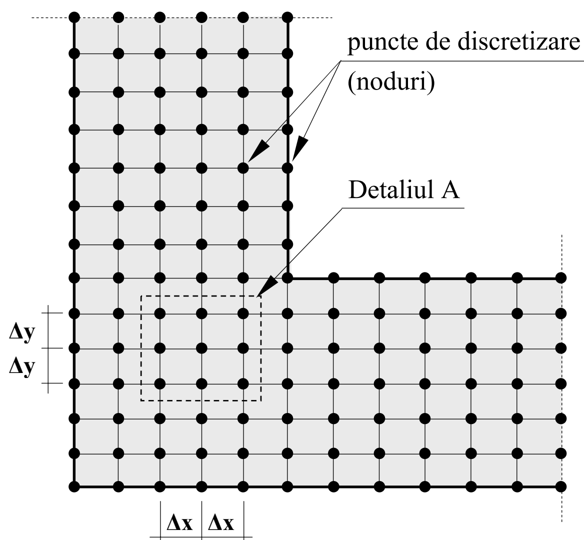


Fig. 5.21. Discretizarea colțului unui perete exterior

Aplicând ecuația căldurii transcrisă în diferențe finite pentru fiecare din cele „n” noduri ale rețelei adoptate, rezultă un sistem de „n” ecuații algebrice cu „n” necunoscute, care reprezintă temperaturile din punctele respective; rezolvarea sistemului conduce la cunoaşterea câmpului termic, pe baza căruia se pot stabili în continuare toate caracteristicile termofizice ale elementului pe porțiunea considerată.

Cu cât rețeaua adoptată este mai fină, cu un număr mai mare de noduri, precizia cu care se obțin rezultatele va fi mai ridicată, deci câmpul termic va fi mai riguros caracterizat.

În cazul elementelor fără surse interioare de căldură, ecuația caracteristică a căldurii pentru câmpul termic plan staționar se poate scrie, conform rel. (5.46):

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda(x,y)\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda(x,y)\frac{\partial T}{\partial y}\right)=0 \qquad (5.56)$$

În cazul elementelor omogen şi izotrope, expresia (5.56) devine:

$$\lambda\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\lambda\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}=0 \qquad (5.57)$$

Prin transpunerea ecuației (5.57) în diferențe finite, se poate scrie:

$$\lambda\frac{\Delta_x^2 T}{\Delta x^2}+\lambda\frac{\Delta_y^2 T}{\Delta y^2}=0 \quad => \quad \frac{\Delta_x^2 T}{\Delta x^2}+\frac{\Delta_y^2 T}{\Delta y^2}=0 \qquad (5.58)$$

care exprimă faptul că în regim termic staționar fluxul de căldură este constant, deci variația fluxului termic pe domeniu este nulă.

Pentru o rețea ortogonală (Fig. 5.21, 5.22), se poate scrie:

$$\begin{aligned}\Delta_x^2 T &= (\Delta_x T)_1 - (\Delta_x T)_2 = \\ &= (T_{x+\Delta x,y}-T_{x,y}) - (T_{x,y}-T_{x-\Delta x,y}) = \\ &= T_{x+\Delta x,y}-2T_{x,y}+T_{x-\Delta x,y}=T_1-2T_0+T_2\end{aligned} \qquad (5.59)$$

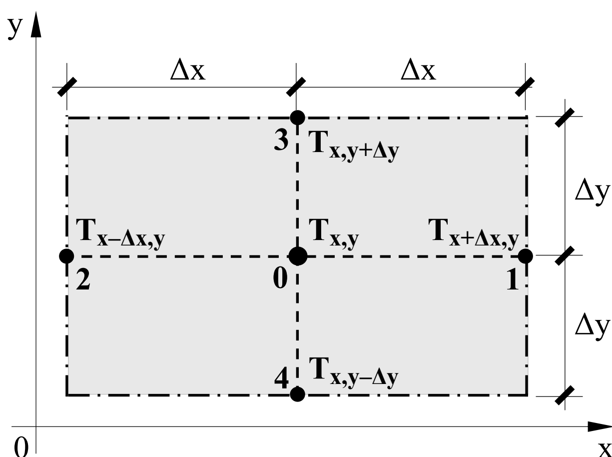


Fig. 5.22. Rețea de calcul ortogonală pentru aplicarea metodei diferențelor finite (detaliul A din Fig. 5.21)

În consecință, termenii ecuației (5.58) se pot scrie:

$$\frac{\Delta_x^2 T}{\Delta x^2} = \frac{T_1 - 2T_0 + T_2}{\Delta x^2}; \qquad \frac{\Delta_y^2 T}{\Delta y^2} = \frac{T_3 - 2T_0 + T_4}{\Delta y^2} \tag{5.60}$$

Prin înlocuirea termenilor din relațiile (5.60) în expresia (5.58) şi rezolvarea în raport cu temperatura în nodul 0 (T_o), rezultă:

$$T_0 = \frac{(T_1 + T_2).\Delta y^2 + (T_3 + T_4).\Delta x^2}{2(\Delta x^2 + \Delta y^2)} \tag{5.61}$$

Dacă rețeaua are ochiuri pătrate (Δx = Δy), relația (5.61) devine:

$$T_0 = \frac{1}{4}(T_1 + T_2 + T_3 + T_4) \tag{5.62}$$

ceea ce înseamnă că temperatura într-un punct al rețelei unui domeniu omogen este egală cu media aritmetică a temperaturilor punctelor vecine.

Dacă expresia (5.62) se scrie pentru fiecare nod al rețelei adoptate, rezultă sistemul de ecuații algebrice în care necunoscutele sunt temperaturile nodurilor.

La adoptarea rețelei de calcul se recomandă următoarele:

- rețeaua, de preferință ortogonală, să fie cât mai apropiată de alcătuirea interioară a elementului neomogen;
- rețeaua de calcul să se extindă cu un pas în afara elementului, respectiv în aerul exterior şi interior, pentru a se putea utiliza condițiile la limită;
- unele axe ale rețelei să coincidă cu limitele elementului, ale straturilor componente şi ale punții termice.

Rezolvarea sistemului de ecuații care rezultă se face prin:

a. Calcul automat, cu ajutorul programelor pentru sisteme cu număr mare de ecuații, bazate pe diferite metode matematice.

Programele de calcul pentru rezolvarea problemelor de câmp sunt astfel întocmite încât pe baza datelor inițiale de intrare (parametrii mediului, alcătuirea elementului în zona analizată, caracteristicile termice ale materialelor, modul de discretizare, gradul de precizie impus etc.), să genereze automat sistemul de ecuații algebrice şi să-l rezolve corespunzător condițiilor date, iar pe baza câmpului de temperaturi să determine caracteristicile termofizice ale elementului neomogen şi să stabilească îndeplinirea criteriilor de performanță normate, eventual să evalueze pierderile de căldură, să traseze liniile izoterme sau liniile de flux termic etc.

b. Calcul manual, prin metoda aproximațiilor succesive, indicată în cazul unui număr mic de noduri (în general $n < 100$), ce necesită un volum mare de calcule şi oferă un grad de precizie mai redus.

Pentru rezolvarea manuală a sistemului de ecuații se procedează astfel:

- se stabilesc valorile inițiale ale temperaturilor din nodurile rețelei, pe baza temperaturilor din câteva secțiuni caracteristice (axul punții, limita zonei de influență, unele secțiuni intermediare), calculate manual considerând transmisia termică unidirecțională, cu relația:

$$T_x = T_i - \frac{R_{i-x}}{R_0}\left(T_i - T_e\right) \tag{5.63}$$

  Prin interpolare sau prin apreciere se obțin valorile de plecare ale temperaturilor în celelalte noduri;

- valorile inițiale se introduc în ecuațiile sistemului şi rezultă un nou şir de temperaturi, care se introduc din nou în ecuații ş.a.m.d.;
- operația se continuă succesiv până când se atinge gradul de precizie dorit, respectiv până când toate temperaturile diferă de cele anterioare cu cel mult ecartul impus (de exemplu 0,1°C);
- temperaturile din ultimul şir de valori se folosesc în continuare la stabilirea parametrilor termofizici în zona analizată.

5.2.10.3. Metoda elementelor finite

Domeniul continuu (zona din elementul analizat: perete exterior, planşeu etc.) se descompune într-un număr finit de sub-elemente geometrice, numite elemente finite, cu aceleaşi proprietăți fizice ca ale corpului în ansamblu (Fig. 5.23). Aceste elemente se consideră interconectate în noduri, unde urmează să se determine soluția problemei, respectiv valorile temperaturilor.

Spre deosebire de metoda diferențelor finite, metoda elementelor finite nu necesită o rețea rectangulară. Elementele finite pot fi liniare (segmente de

dreaptă), plane (triunghiuri sau patrulatere), spațiale (tetraedre, hexaedre etc.), de acelaşi tip sau de tipuri diferite în cadrul aceluiaşi domeniu de analiză (Fig. 5.24).

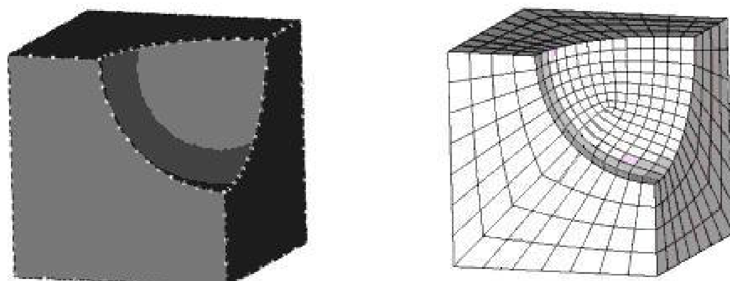


Fig. 5.23. Descompunerea unui domeniu în elemente finite (discretizare)

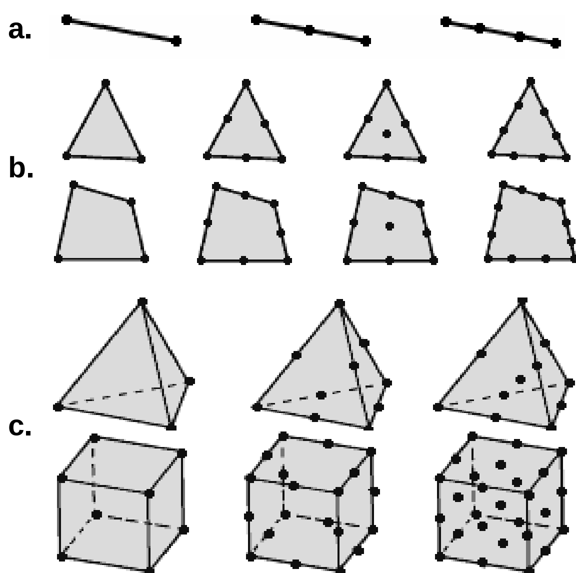


Fig. 5.24. Tipuri de elemente finite şi nodurile aferente
a. liniare (unidimensionale); **b.** plane (bidimensionale);
c. spațiale (tridimensionale)

Dimensiunile elementelor finite influențează direct convergența soluției, deci precizia rezultatelor obținute, tendința fiind de a se adopta elemente finite cu dimensiuni cât mai mici, mai cu seamă în zonele cu variații mari ale mărimilor caracteristice ale câmpului. Ca şi în cazul metodei diferențelor finite, nodurile se poziționează ținând seama de discontinuitățile fizice şi geometrice ale elementului.

Dezvoltarea informaticii şi a tehnicii de calcul din ultimii ani a permis realizarea unor programe perfecționate de generare automată sau semiautomată a rețelei de discretizare cu elemente finite şi de rezolvare a sistemului de ecuații.

Principial, în cadrul metodei elementelor finite, se parcurg următoarele etape:

- introducerea datelor de intrare: mărimile geometrice şi fizice ale domeniului studiat, condițiile la limită etc.;
- discretizarea domeniului (elementului) analizat;
- generarea ecuațiilor caracteristice pe elemente (ecuații elementale);
- asamblarea elementelor finite, respectiv a ecuațiilor, într-un sistem general, obținându-se astfel modelul numeric global;
- rezolvarea sistemului de ecuații, ce conduce la valorile temperaturilor în nodurile rețelei de discretizare;
- calculul unor mărimi derivate: fluxul termic, fluxul termic unitar, rezistența termică etc.

5.2.10.4. Programe de calcul

O dată cu apariția şi dezvoltarea pe scară largă a microprocesoarelor şi în continuare a calculatoarelor personale şi a stațiilor de lucru inginereşti (după 1980), metodele numerice au cunoscut o amploare deosebită. În special metoda elementelor finite a suscitat în mare măsură interesul specialiştilor, datorită avantajelor sale bine cunoscute. Pe baza acestui model matematic au fost concepute programe performante, printre care NASTRAN, ANSYS, ABAQUS, COSMOS etc.

Toate aceste programe dispun de module de calcul extrem de puternice şi de facilități deosebite de pre şi post procesare.

a. Programul RDM

RDM este un program francez, scris de Yves Debard, de la Institutul Universitar de Tehnologie din Le Mans. Programul rulează în mediul Windows şi, cu toate că nu se încadrează în categoria programelor profesionale, are meritul de a fi bine organizat, uşor de învățat şi suficient de precis.

Cu acest program pot fi efectuate următoarele tipuri de analiză:

- analiza statică a grinzilor drepte solicitate la încovoiere plană;
- analiza elastică a stării plane de tensiuni şi deformații;
- calculul plăcilor la încovoiere;
- analiza câmpului termic plan.

În ceea ce priveşte analiza termică, pot fi studiate domenii plane cu diverse forme geometrice, omogene sau neomogene, cu sau fără izvoare de căldură, în regim termic staționar, cu condiții la limită de speța I, II, III şi IV.

Preprocesarea

Acest proces constă în definirea geometriei domeniului analizat. Pot fi utilizate puncte, drepte, segmente de dreaptă, cercuri şi arce de cerc. Practic, deşi gama elementelor geometrice nu este prea largă, poate fi generată (sau aproximată suficient de exact) forma oricărui domeniu curent întâlnit în practica de proiectare.

Discretizarea

Pentru discretizare pot fi utilizate:

- elemente finite plane cu 3 laturi (triunghiuri) şi 3 sau 6 noduri;
- elemente finite plane cu patru laturi (patrulatere oarecare) şi 4, 8 sau 9 noduri.

Discretizarea poate fi complet automată (tip Delaunay), cu utilizarea elementelor triunghiulare, sau semiautomată (pe blocuri), cu elemente triunghiulare şi/sau patrulatere. După discretizare, elementele finite pot fi verificate din punct de vedere al distorsiunilor (patrulatere prea alungite, triunghiuri cu un unghi apropiat de 180^o etc.) şi pot fi luate măsuri de corectare, prin repetarea procesului de discretizare cu alte opțiuni.

Postprocesarea

După efectuarea analizei termice, se obțin următoarele rezultate:

- valorile temperaturilor în fiecare nod;
- valorile fluxurilor termice unitare în fiecare nod.

Pentru o mai bună înțelegere şi interpretare, rezultatele pot fi puse sub diverse forme grafice:

- linii de egală temperatură (izoterme);

- linii de fluxuri unitare egale;
- hărți de temperaturi şi de fluxuri unitare (prin colorarea diferită a zonelor dintre liniile de egală valoare);
- variația temperaturilor sau fluxurilor unitare în secțiuni alese de utilizator;
- variația temperaturilor sau fluxurilor unitare pe frontierele domeniului.

Valorile mărimilor calculate pot fi salvate în fişiere text, pentru întregul domeniu sau pentru anumite zone. Aceste valori pot fi apoi preluate într-un program de calcul tabelar, cum este EXCEL, şi utilizate pentru determinarea rapidă a coeficientului liniar de transfer termic ψ şi în final a rezistenței termice corectate R' (pct. 5.2.11). Coeficientul χ nu poate fi determinat cu programul RDM, întrucât acesta nu rezolvă probleme de câmp termic spațial.

b. Programul NASTRAN

Programul NASTRAN (NASA STRUCTURAL ANALYSIS) este proprietate a firmei „MSC Software Corporation" din Los Angeles, SUA. Programul pune la dispoziția utilizatorului un cadru de lucru foarte unitar şi bine integrat în mediul WINDOWS. Toate fazele necesare unei analize, indiferent de tipul acesteia, se efectuează în acelaşi loc, cu aceeaşi structură de meniuri, cu comenzi comune de vizualizare pentru pre şi post-procesare. Procesele de generare a geometriei domeniului şi de generare a elementelor finite sunt separate, ceea ce creează posibilitatea unui mod de lucru ordonat, de tip ierarhizat, şi multe alte facilități ce vor fi descrise în continuare.

Preprocesarea

Această fază presupune, principial, două etape:

- crearea geometriei;
- „îmbrăcarea” geometriei cu elemente finite (procesul de discretizare).

Modelarea geometriei, asemănătoare în principiu cu modul de lucru în AUTOCAD, include generarea de puncte, linii, curbe de diferite tipuri (inclusiv curbe spline), suprafețe dintre cele mai diverse (plane, conice, obținute prin translare de curbe etc.), volume simple (paralelipipedice, sferice, cilindrice) sau complexe (obținute prin combinarea volumelor simple şi/sau cu ajutorul unor suprafețe de frontieră).

Operațiile de discretizare sunt mult uşurate de posibilitățile numeroase şi foarte variate de generare automată sau semiautomată a rețelei, cu paşi constanți sau variabili, atât pentru domeniile 2D cât şi pentru cele 3D. Discretizarea se poate efectua direct, prin generarea elementelor finite fără utilizarea geometriei, dar acest procedeu nu se recomandă decât în cazul problemelor simple sau la corectarea unor zone de dimensiuni reduse. În mod uzual se utilizează elementele geometrice drept punct de pornire şi suport pentru rețeaua de discretizare.

După generare, există posibilitatea unor prime verificări a elementelor finite, din punct de vedere al distorsiunilor apărute:

- verificarea raportului dintre lungimile laturilor adiacente ale elementului;
- verificarea raportului dintre lungimile laturilor opuse ale elementului;
- verificarea deviației unghiurilor în raport cu unghiul drept, la elemente 2D cu 4 laturi;
- verificarea deviației unghiurilor în raport cu unghiul de 60^{o}, la elemente 2D cu 3 laturi;

- verificarea planeității elementelor 2D;
- verificarea tetraedrelor pleoştite (cu înălțime redusă).

Opțional, pentru elementele distorsionate, poate fi instituită o stare de „carantină”, în sensul că acestea sunt introduse într-un grup separat, unde pot fi vizualizate şi manipulate independent de elementele finite „sănătoase”.

La finalul acestor operații se pot utiliza numeroasele opțiuni de corectare a rețelei prin îndesire, rărire, uniformizare, transformări de elemente, re-discretizare în zone controlate de utilizator etc.

Numărul de elemente sau noduri ale rețelei nu este limitat de program, ci doar de memoria sistemului pe care se lucrează.

Analiza cu elemente finite

Pot fi efectuate următoarele tipuri de analiză: analiză statică, analiză statică pentru optimizarea greutății proprii a unei structuri, analiză dinamică modală (valori şi vectori proprii), analiză spectrală, analiză dinamică tip „time history”, analiză neliniară de pierdere a stabilității (flambaj), analiză neliniară (calcul în domeniul plastic, calcul în stadiul de curgere etc.), curgeri de fluide, analiză termică în regim staționar şi nestaționar, combinații ale acestora (de exemplu analiză termo-elastică).

În privința calculului termic pot fi analizate: conducția 1D, 2D sau 3D; convecția liberă sau forțată; radiația în spații închise sau deschise. Se pot impune condiții la limită de orice tip, constante sau variabile în spațiu şi/sau timp. De asemeni, pot fi utilizate materiale cu coeficientul λ variabil (funcție de temperatură sau umiditate). Domeniile modelate pot conține surse termice punctuale, liniare, de suprafață sau de volum, constante sau variabile în timp.

Modelele analizate pot fi omogene sau neomogene, compuse dintr-o diversitate de tipuri de materiale solide (izotrope, ortotrope 2D sau 3D, anizotrope 2D sau 3D, hiperelastice etc.) sau fluide (gaze, lichide). Pot fi utilizate de asemeni materiale cu proprietăți termo-optice speciale (în spectru infraroşu sau vizibil) sau materiale ce suferă schimbări de fază.

Este de remarcat tendința de a introduce soluții matematice moderne în diversele tipuri de analiză, aşa cum este de exemplu metoda Lanczos în analiza modală.

Postprocesarea

Pot fi vizualizate hărțile de deplasări, deformații, tensiuni, eforturi, temperaturi, viteze etc. De asemeni, se pot afişa diagramele de eforturi pentru elemente liniare (bare), starea de tensiuni sub formă vectorială, direcțiile tensiunilor principale, hărți ale diferitelor mărimi în secțiuni mobile, linii sau suprafețe de egală valoare pentru deplasări, tensiuni, temperaturi, flux termic etc.

Valorile acestor mărimi pot fi listate în diverse formate, prestabilite sau definite de utilizator, în fişiere text, pentru întregul domeniu sau pentru porțiuni ale acestuia.

Pot fi combinate rezultatele din diverse cazuri de încărcare, fiecare caz fiind afectat de un coeficient propriu, controlat de utilizator.

În plus, se poate evalua precizia analizei, în raport cu fiecare tip de rezultat (de exemplu fluxul termic), pe baza a 6 criterii posibile: diferența dintre valorile extreme în nodurile unui element, diferența dintre valorile extreme în nodurile unui element şi cea medie, diferențe normalizate (raportate la valoarea maximă la nivelul întregului model) etc.

Nu în ultimul rând, este de remarcat paleta extrem de bogată a mesajelor pe care programul le generează la sfârşitul unei rulări. Acestea sunt împărțite în trei categorii:

- mesaje de informare, folosite în mod uzual pentru a înştiința utilizatorul asupra anumitor operații executate de program;
- mesaje de atenționare, atunci când sunt depistate anumite „stângăcii" în modelare (de exemplu sunt semnalate elementele cu distorsiuni mai mari decât cele admisibile); acestea nu sunt considerate erori grave, deşi în anumite cazuri pot vicia în mare măsură rezultatele, iar rularea programului nu este stopată;
- mesaje de eroare fatală, care apar în cazul depistării unor greşeli sau omisiuni majore în datele de intrare (de exemplu nu sunt definite condițiile la limită în cadrul modelării unui câmp termic); în aceste cazuri rularea este întreruptă.

Setul complex de verificări ce pot fi efectuate înainte şi după rulare, precum şi numeroasele mesaje finale, diminuează în mod semnificativ probabilitatea unor erori de modelare şi fac din NASTRAN un program în care cu greu se poate greşi.

5.2.10.5. Exemplu de calcul

Pentru ilustrarea rezultatelor ce pot fi obținute prin modelarea numerică a câmpului termic, este prezentat în continuare un fragment dintr-o expertiză privind comportarea termică a unui bloc de locuințe cu structura din panouri mari prefabricate din beton (Fig. 5.25), executat în 1975.

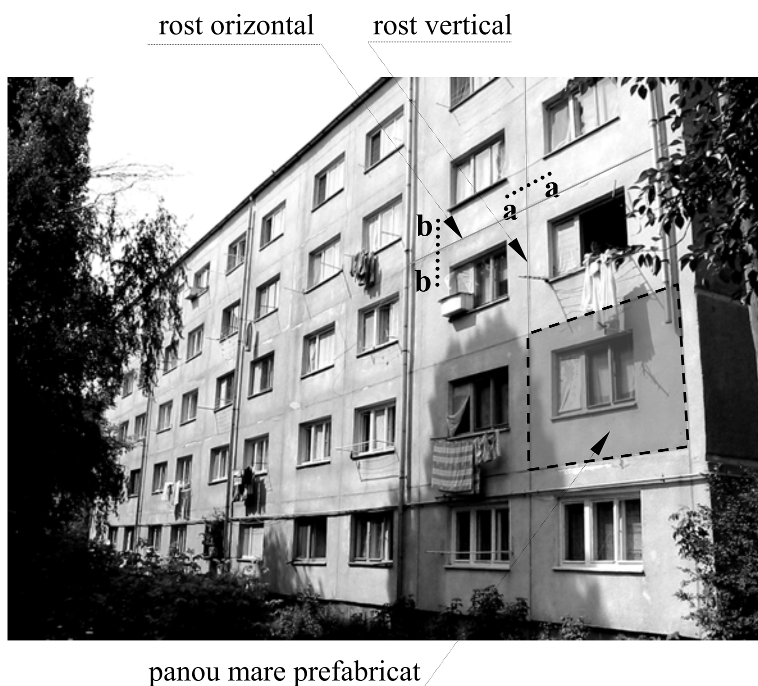


Fig. 5.25. Bloc de locuințe din panouri mari prefabricate

În cadrul expertizei au fost modelate toate detaliile constructive ale elementelor cu rol de izolare termică: pereții exteriori, planşeele de la ultimul nivel şi de peste subsol etc. În continuare sunt prezentate două detalii: secțiunea prin rostul vertical dintre panouri (Fig. 5.25, secțiunea a–a; Fig. 5.26) şi secțiunea prin rostul orizontal (Fig. 5.25, secțiunea b–b; Fig. 5.27).

În Fig. 5.28 este prezentat modul de discretizare al rostului vertical, prin metoda elementelor finite. Deoarece se modelează câmpul termic într-o secțiune plană, s-au utilizat elemente finite bidimensionale (patrulatere). S-a utilizat opțiunea de discretizare automată, pe baza geometriei domeniului.

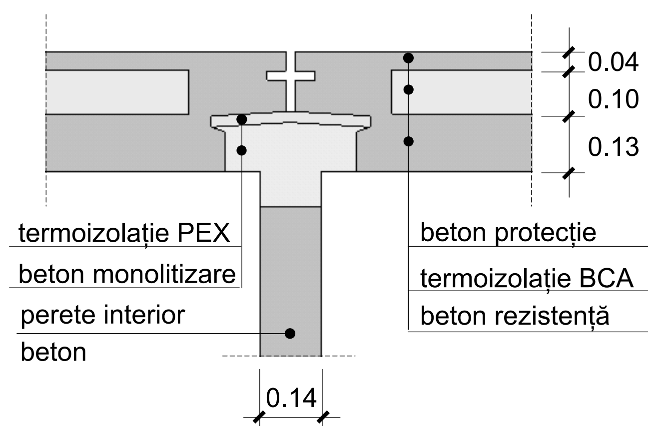


Fig. 5.26. Secțiune orizontală prin rostul vertical (Fig. 5.25, secț. a – a)

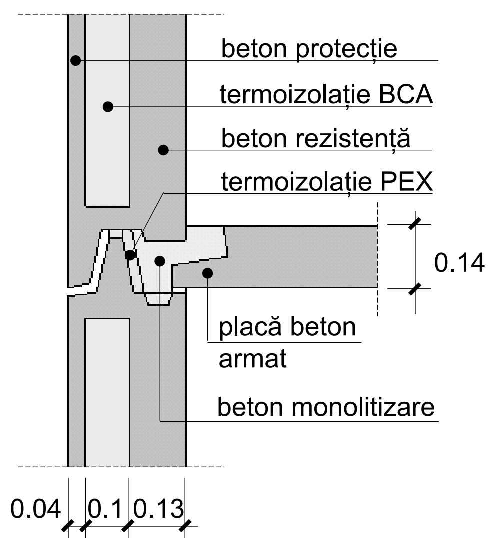


Fig. 5.27. Secțiune verticală prin rostul orizontal (Fig. 5.25, secț. b – b)

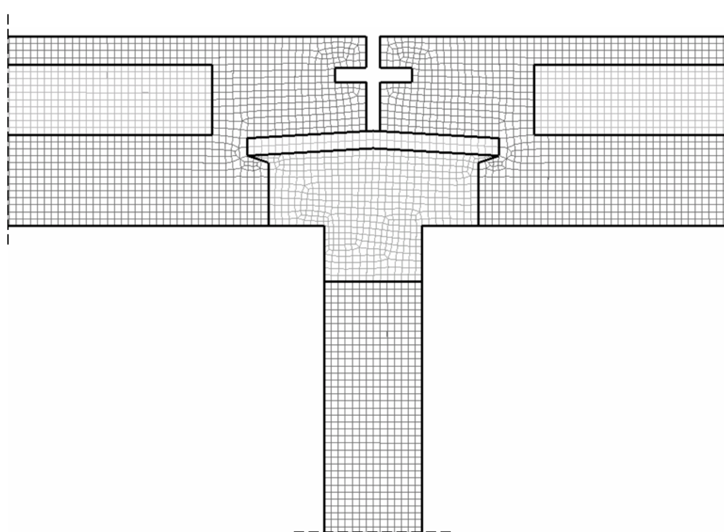


Fig. 5.28. Rețeaua de discretizare pentru rostul vertical

Rezultatele primare obținute în urma rulării (temperaturile în nodurile rețelei de discretizare) sunt reprezentate grafic în Fig. 5.29. Nuanțele deschise corespund valorilor ridicate ale temperaturilor (5...20 ºC), cele medii valo-rilor din intervalul –5...+5 ºC, iar cele închise cuprind intervalul –5...–15 ºC. Frontierele dintre nuanțele de gri reprezintă izotermele câmpului de temperatură.

În Fig. 5.30 este reprezentată harta fluxului termic unitar. Nuanțele închise corespund valorilor mari ale fluxului, ce apar în nervurile de legătură (din beton) de la marginile panourilor, iar nuanțele deschise reprezintă valorile reduse înregistrate în straturile de termoizolație şi în peretele interior. Fig. 5.31 conține o reprezentare vectorială a fluxului termic unitar, practic fiind vizualizate direcțiile de curgere ale căldurii ce traversează peretele exterior.

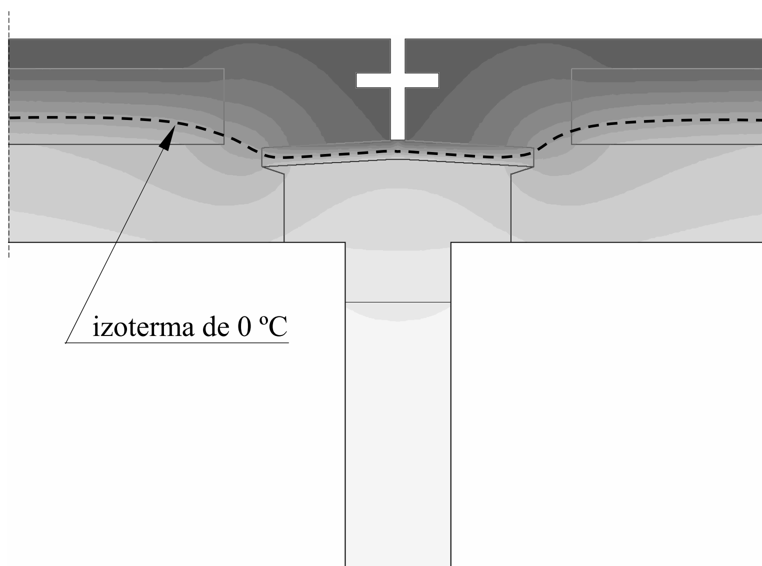


Fig. 5.29. Harta temperaturilor în secțiunea caracteristică a rostului vertical

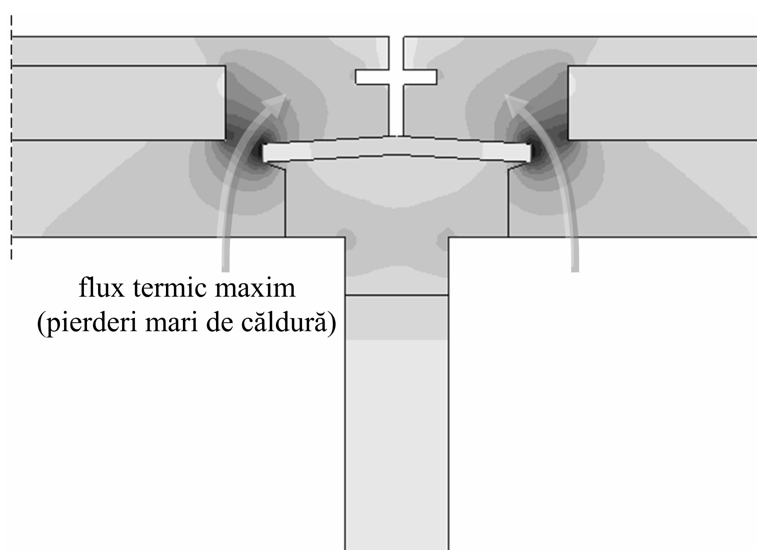


Fig. 5.30. Harta fluxului termic unitar în secțiunea caracteristică a rostului vertical

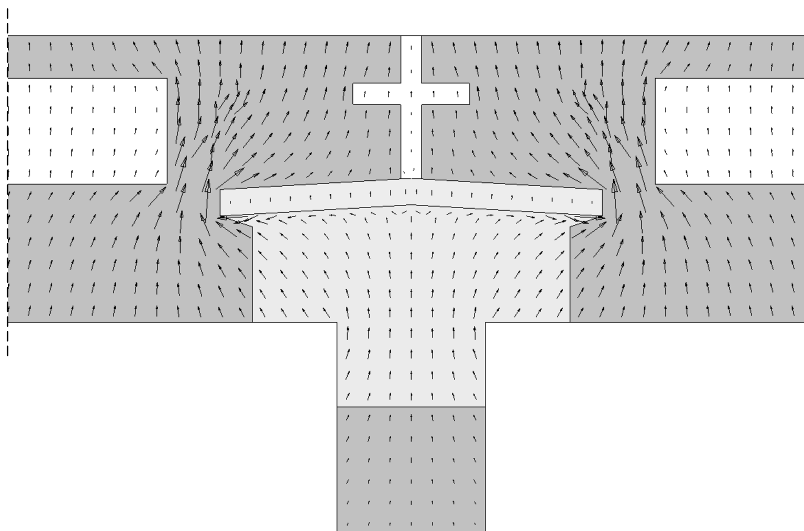


Fig. 5.31. Reprezentarea vectorială a fluxului termic unitar în rostul vertical

În Fig. 5.32 este prezentată discretizarea rostului orizontal, generată automat de program.

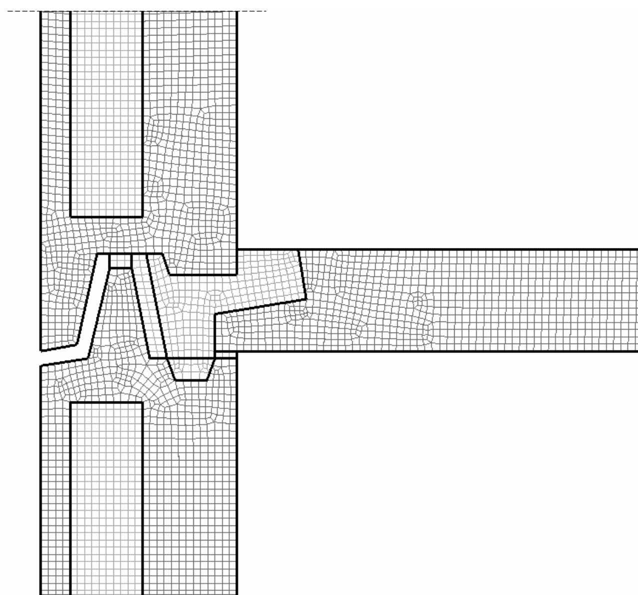


Fig. 5.32. Rețeaua de discretizare pentru rostul orizontal

Rezultatele obținute sunt reprezentate grafic în Fig. 5.33 (câmpul de temperaturi), Fig. 5.34 (câmpul de fluxuri termice unitare) şi Fig. 5.35 (reprezentarea vectorială a fluxurilor unitare), convențiile de reprezentare fiind aceleaşi ca la rostul vertical.

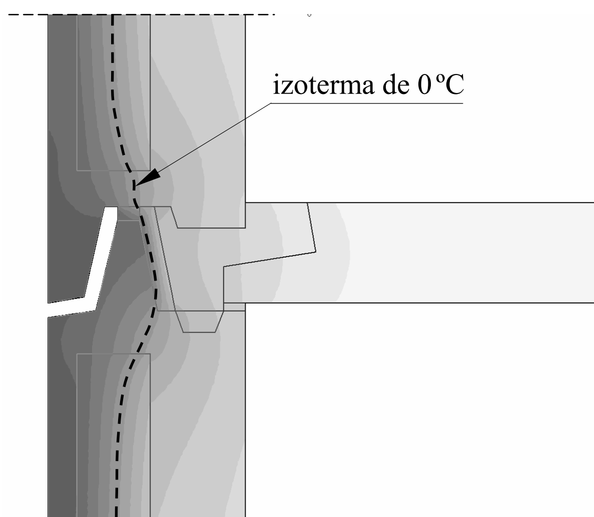


Fig. 5.33. Harta temperaturilor în secțiunea caracteristică a rostului orizontal

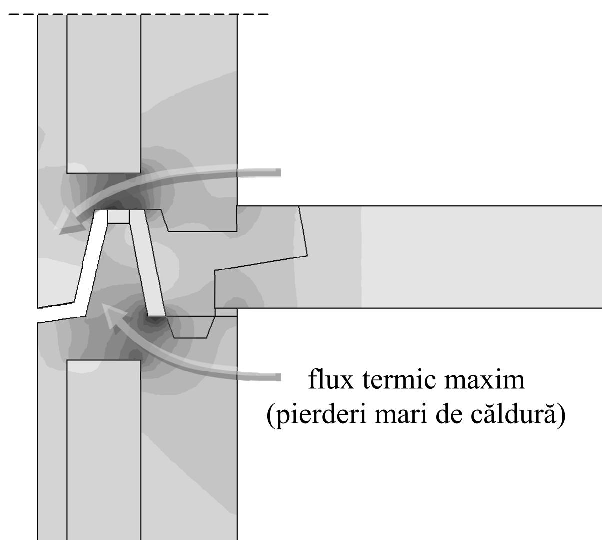


Fig. 5.34. Harta fluxului unitar în secțiunea caracteristică a rostului orizontal

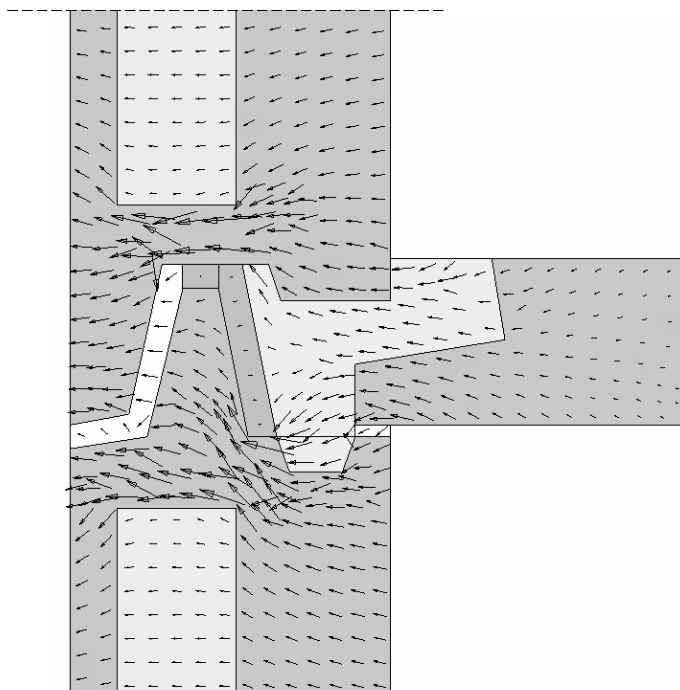


Fig. 5.35. Reprezentarea vectorială a fluxului unitar în rostul orizontal

În afara reprezentărilor grafice prezentate mai sus, programul de calcul furnizează valorile numerice ale mărimilor calculate în nodurile şi/sau elementele rețelei de discretizare. Astfel, pot fi generate liste ale temperaturilor, gradienților de temperatură, fluxurilor termice, fluxurilor termice unitare, pentru întregul domeniu sau pentru anumite zone alese de utilizator (de exemplu temperaturile pe suprafața interioară a elementului). De asemeni, programul NASTRAN poate calcula mărimi derivate definite de utilizator, aşa cum este de exemplu rezistența termică. În Fig. 5.36 sunt redate hărțile rezistenței termice, valorile acesteia fiind obținute cu relația cunoscută (5.19). Nuanțele deschise reprezintă valorile mici ale rezistenței, din zona punților termice, iar nuanțele închise valorile mari, localizate în straturile de izolație termică şi în zonele învecinate ale acestora.

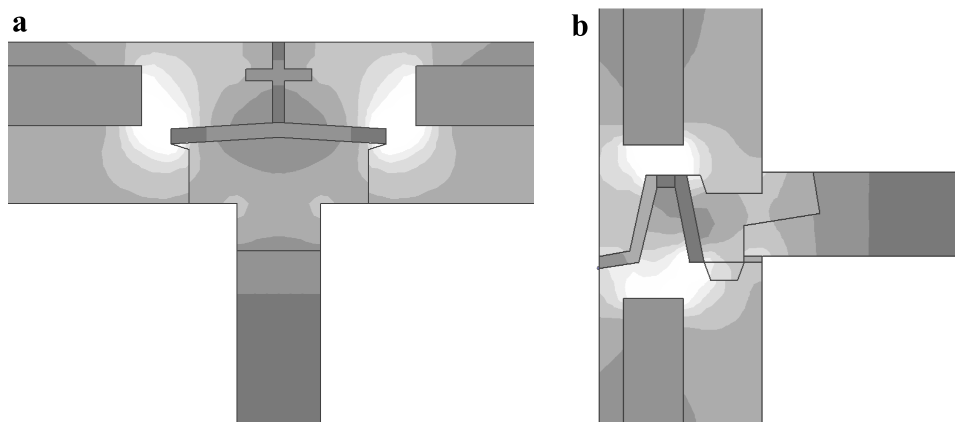


Fig. 5.36. Hărțile rezistențelor termice în rosturile panoului prefabricat
a. rost vertical; **b.** rost orizontal

5.2.11. Rezistența termică a elementelor cu punți

5.2.11.1. Punți termice

La elementele omogene, sau alcătuite din straturi continui şi paralele cu suprafețele elementului, fluxul termic este unidirecțional şi perpendicular pe element, iar rezistența termică este constantă. Practic, această situație se regăseşte rar în cazul elementelor anvelopei clădirilor. De regulă, acestea conțin zone neomogene prin care căldura se propagă după două sau trei direcții, câmpul termic fiind în acest caz plan sau spațial.

În aceste zone pot exista materiale cu coeficient de conductivitate termică mai mare decât în restul elementului (câmpul curent) şi/sau zone în care geometria elementului se modifică. Ambele situații au drept urmare o majorare semnificativă a pierderilor de căldură.

Zonele din componența elementelor de construcții, care datorită alcătuirii structurale sau geometrice prezintă o permeabilitate termică sporită față de restul elementului, determinând intensificarea transferului de căldură, sunt

denumite punți termice. Uneori există zone neomogene în care pierderile de căldură sunt mai mici decât în câmpul curent; prin extensie, şi acestea sunt denumite punți termice.

Punțile termice sunt caracterizate în principal prin temperaturi care diferă de cele ale restului elementului din care fac parte. Ca urmare, în perioadele reci suprafața interioară a elementului de închidere prezintă în zonele punților temperaturi mai mici, ceea ce afectează condițiile de confort prin scăderea temperaturii resimțite în încăpere şi favorizează condensarea vaporilor de apă din aerul interior, cu urmări defavorabile sub aspect igienic, estetic şi al durabilității elementelor.

Punți termice frecvent întâlnite în construcții:

- stâlpii din beton înglobați parțial sau total în pereți din zidărie;
- sâmburii (stâlpişorii) şi centurile pereților din zidărie;
- rosturile (îmbinările) dintre panourile prefabricate din beton ale pereților exteriori;
- intersecțiile dintre pereții exteriori (colțurile ieşinde sau intrânde ale clădirii), dintre pereții exteriori şi cei interiori sau dintre pereții exteriori şi planşee;
- conturul ferestrelor şi uşilor exterioare etc.

Din punct de vedere geometric, punțile termice se clasifică în două mari categorii (Fig. 5.37):

- punți termice liniare – caracterizate printr-o anumită lungime, secțiunea transversală a punții fiind constantă pe toată lungimea acesteia. De exemplu, stâlpişorii şi centurile înglobate în pereții din zidărie constituie punți termice liniare;

- punți termice punctuale – aceste punți au o extindere redusă pe toate cele 3 direcții. Intersecțiile dintre stâlpi şi grinzi (dintre punțile termice liniare) constituie punți termice punctuale. De asemeni, unele elemente constructive cu dimensiuni mici, cum sunt ploturile din beton sau agrafele metalice cu ajutorul cărora se realizează legătura dintre straturile unui perete, constituie punți termice punctuale.

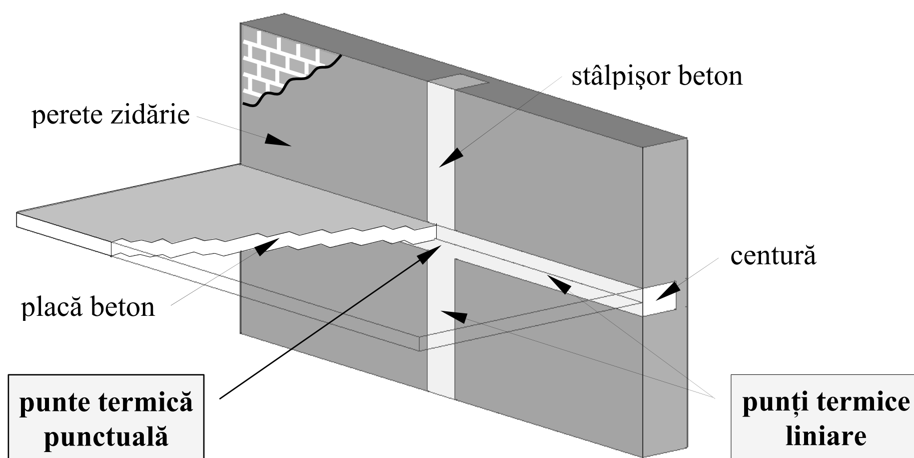


Fig. 5.37. Punți termice liniare şi punctuale

5.2.11.2. Conceptul de rezistență termică specifică corectată

Conform Normativului C 107/3, prin rezistență termică specifică corectată, notată cu R', se înțelege acea rezistență care „ține seama de influența punților termice asupra valorii rezistenței termice specifice determinate pe baza unui calcul unidirecțional în câmp curent". În legătură cu această definiție trebuie aduse câteva precizări.

Rezistența termică în câmpul curent, determinată prin calcul unidirecțional este funcție de structura elementului în zonele neperturbate de punți, şi nu

poate fi influențată de prezența acestora. Influența punților termice se exercită, de fapt, nu asupra rezistenței unidirecționale, ci asupra rezistenței termice globale a unui element. De aceea, este corect să spunem că rezistența termică corectată reprezintă o aproximare a rezistenței termice reale, care ține cont atât de rezistența unidirecțională cât şi de efectul punților (pierderi suplimentare de căldură). Valoarea rezistenței termice corectate tinde către valoarea rezistenței termice reale, de ansamblu, fiind apropiată de aceasta în cazul unui calcul corect efectuat.

Pentru stabilirea relației de calcul a rezistenței termice specifice corectate trebuie mai întâi dedusă o expresie pentru coeficientul de transfer termic corectat U' care este, prin definiție, inversul rezistenței termice. În consecință, conform şi rel. (5.19), se poate scrie:

$$U' = \frac{1}{R'} = \frac{q'}{\Delta T} \qquad (5.64)$$

unde: q' – densitatea fluxului termic (fluxul termic unitar) (W/m^2);
ΔT – căderea totală de temperatură (diferența dintre temperatura aerului interior şi temperatura aerului exterior) (ºC sau K).

a. Punți termice liniare

În cazul unui element de construcție cu funcție de izolare termică, ce conține o singură punte liniară (Fig. 5.38), densitatea fluxului termic poate fi exprimată ca sumă dintre densitatea q_u în câmp unidirecțional (ca şi cum puntea termică nu ar exista) şi o densitate de flux suplimentară Δq cauzată de punte: $q' = q_u + \Delta q$.

Relația (5.64) devine:

$$U' = \frac{q'}{\Delta T} = \frac{q_u + \Delta q}{\Delta T} \qquad (5.65)$$

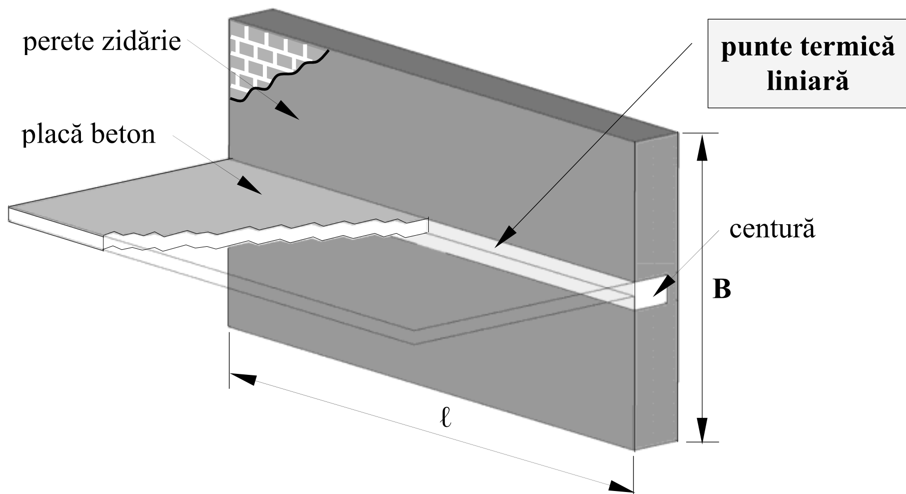


Fig. 5.38. Element cu o singură punte termică liniară

Expresia (5.65) se poate scrie:

$$U' = \frac{q_u + \Delta q}{\Delta T} = \frac{\frac{\Phi_u}{A} + \frac{\Delta\Phi}{A}}{\Delta T} = \frac{\Phi_u}{A.\Delta T} + \frac{\Delta\Phi}{A.\Delta T} \tag{5.66}$$

unde: Φ_u – fluxul termic unidirecțional, aferent ariei A, în situația fără punte (W);

Φ' – fluxul termic aferent ariei A, în situația cu punte (W);

$\Delta\Phi$ – surplusul de flux datorat punții termice: $\Delta\Phi = \Phi' - \Phi_u$ (W);

A – aria suprafeței traversate de fluxul termic; cf. Fig. 5.38: $A = B.\ell$

În cazul transmisiei unidirecționale (fără punte), coeficientul de transfer termic U va fi:

$$U = \frac{q_u}{\Delta T} = \frac{\frac{\Phi_u}{A}}{\Delta T} = \frac{\Phi_u}{A.\Delta T} \tag{5.67}$$

Din relația (5.67) rezultă:

$$\Phi_u = U.A.\Delta T \tag{5.68}$$

Înlocuind în expresia (5.66) fluxul termic Φ_u dat de relația (5.68) se obține:

$$U' = \frac{\Phi_u}{A.\Delta T} + \frac{\Delta\Phi}{A.\Delta T} = \frac{U.A.\,\Delta T}{A.\Delta T} + \frac{\Delta\Phi.\,\ell}{A.\Delta T.\ell} = \\ = U + \frac{\Delta\Phi}{\ell.\Delta T}\,\frac{\ell}{A} = \frac{1}{R} + \frac{\Delta\Phi}{\ell.\Delta T}\,\frac{\ell}{A} \tag{5.69}$$

unde: R – rezistența termică determinată prin calcul unidirecțional ($m^2\,{}^{o}C/W$).

Cu notația $\frac{\Delta\Phi}{\ell.\Delta T} = \psi$, relația (5.69) se poate scrie:

$$U' = \frac{1}{R} + \frac{\psi.\ell}{A} \tag{5.70}$$

b. Punți termice punctuale

În cazul în care un element de construcție include o singură punte termică punctuală, relația (5.66) se poate scrie:

$$U' = \frac{\Phi_u}{A.\Delta T} + \frac{\Delta\Phi}{A.\Delta T} = \frac{U.A.\Delta T}{A.\Delta T} + \frac{\Delta\Phi}{A.\Delta T} = U + \frac{\Delta\Phi}{A.\Delta T} = \frac{1}{R} + \frac{\Delta\Phi}{\Delta T}\,\frac{1}{A} \tag{5.71}$$

Dacă se face notația $\frac{\Delta\Phi}{\Delta T} = \chi$, relația (5.71) devine:

$$U' = \frac{1}{R} + \frac{\chi}{A} \tag{5.72}$$

c. Cazul general

În situația când în cadrul unui element există un număr oarecare de punți termice liniare şi punctuale, relațiile (5.70) şi (5.72) conduc la:

$$U' = \frac{1}{R} + \frac{\sum \psi . \ell}{A} + \frac{\sum \chi}{A} \quad (5.73)$$

Primul termen din membrul al II-lea al relației (5.73) reprezintă ponderea pierderilor termice unidirecționale (ca şi cum punțile ar lipsi), iar următorii doi termeni ponderea pierderilor suplimentare datorate punților termice liniare, respectiv punctuale. Coeficientul de transfer termic corectat U' este o caracteristică specifică globală a porțiunii de anvelopă cu aria A.

Rezistența termică specifică corectată R' se obține prin inversarea coeficientului de transfer termic corectat U', deci:

$$\boxed{R' = \frac{1}{U'} = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{\sum \psi . \ell}{A} + \frac{\sum \chi}{A}}} \quad (5.74)$$

Pentru asigurarea nivelului de protecție termică normat (preconizat), verificarea rezistenței termice specifice corectate a unui element de construcție cu funcții de izolare termică se efectuează cu relația:

$$\boxed{R' \geq R'_{min}} \quad (5.75)$$

unde: R' – rezistență termică specifică corectată, calculată conform (5.74);

R'_{min} – rezistență termică specifică corectată minimă necesară, ale cărei valori normate sunt prevăzute în Normativul C107/1 – Anexa 3, funcție de tipul elementului (pereți exteriori, planşee peste ultimul nivel etc.).

5.2.11.3. Coeficienții liniari şi punctuali de transfer termic

Conform celor arătate la pct. 5.2.11.2, relațiile de definiție ale coeficienților de transfer termic liniari ψ şi punctuali χ sunt:

$$\psi = \frac{\Delta\Phi}{\ell.\Delta T} \quad (5.76) \qquad\qquad \chi = \frac{\Delta\Phi}{\Delta T} \quad (5.77)$$

unde: $\Delta\Phi$ – surplusul de flux datorat punții termice: $\Delta\Phi = \Phi' - \Phi_u$ (W);

Φ' – fluxul termic ce traversează domeniul (porțiunea din element ce include puntea termică) (W);

Φ_u – fluxul termic unidirecțional, ce traversează acelaşi domeniu, dar în absența punții termice (W);

ℓ – lungimea punții termice liniare (m);

ΔT – căderea totală de temperatură (ºC sau K).

Coeficientul ψ reprezintă, conform relației (5.76), surplusul de flux $\Delta\Phi$ datorat unei punți termice liniare, raportat la lungimea ℓ a acesteia şi la căderea totală de temperatură ΔT (diferența dintre temperaturile aerului interior şi exterior). Altfel spus, ψ reprezintă fluxul termic suplimentar ce traversează o punte liniară cu lungimea de 1 m, pentru o cădere de temperatură de 1ºC (sau 1 K). Mărimea sa depinde de alcătuirea punții termice, dar şi de caracteristicile zonei curente (cu transmisie termică unidirecțională) în care este situată puntea.

În mod analog, conform relației de definiție (5.77), coeficientul χ reprezintă fluxul termic suplimentar cauzat de o punte punctuală, pentru o cădere de temperatură de 1ºC (sau 1 K).

a. Calculul coeficienților ψ şi χ

Calculul efectiv al coeficienților ψ şi χ poate fi efectuat cu expresiile de definiție (5.76) şi (5.77), prin parcurgerea următoarelor etape:

- modelarea numerică, cu ajutorul unui program specializat de calcul, a câmpului termic, fie pentru domeniul plan definit de secțiunea transversală prin puntea liniară (de regulă secțiune orizontală sau verticală) în cazul coeficientului ψ, fie pentru domeniul spațial în cazul coeficientului χ şi determinarea fluxului termic Φ' ce traversează elementul;
- determinarea fluxului termic unidirecțional Φ_u pentru domeniul definit, în absența punții termice (calculul se poate efectua manual);
- stabilirea diferenței dintre cele două fluxuri $\Phi' - \Phi_u = \Delta\Phi$ şi raportarea acesteia la lungimea punții şi la căderea de temperatură (în cazul coeficientului ψ), sau numai la căderea de temperatură (în cazul coeficientului χ).

Problema care se pune este cât de extins trebuie să fie domeniul luat în considerare. Principial, în cazul punților termice liniare trebuie considerate porțiuni de o parte şi de alta a punții, suficient de extinse pentru a depăşi limitele zonei de influență a acesteia, limite ce variază în principal funcție de structura punții. Conform Normativului C 107/3 şi altor reglementări, o lățime de cca. 1,2 m a celor două zone adiacente se poate considera acoperitoare în cazul oricărui tip de punte.

În Fig. 5.39 – 5.42 sunt reprezentate câteva situații uzuale în care intervin punți termice liniare şi modul de apreciere a dimensiunilor domeniului considerat în calcule.

Pentru calculul fluxului Φ' domeniile modelate se adoptă conform Fig. 5.39.a – 5.42.a, iar pentru calculul fluxului Φ_u se consideră domeniile cu punți eliminate conform Fig. 5.39.b, 5.40.b, 5.41.c, 5.42.c.

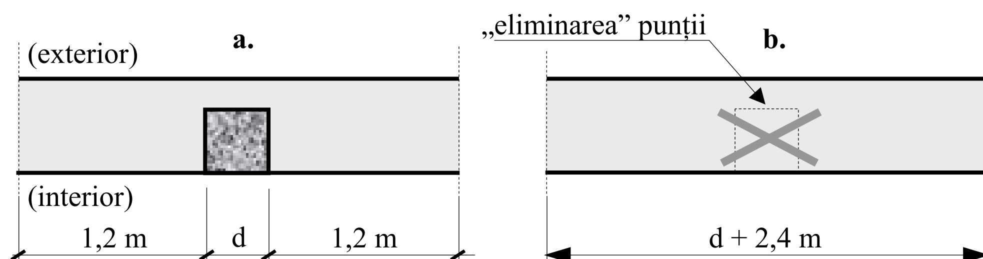


Fig. 5.39. Punte termică în dreptul unui stâlpişor înglobat
a. domeniul modelat numeric 2D;
b. domeniul fără punte (calcul unidirecțional)

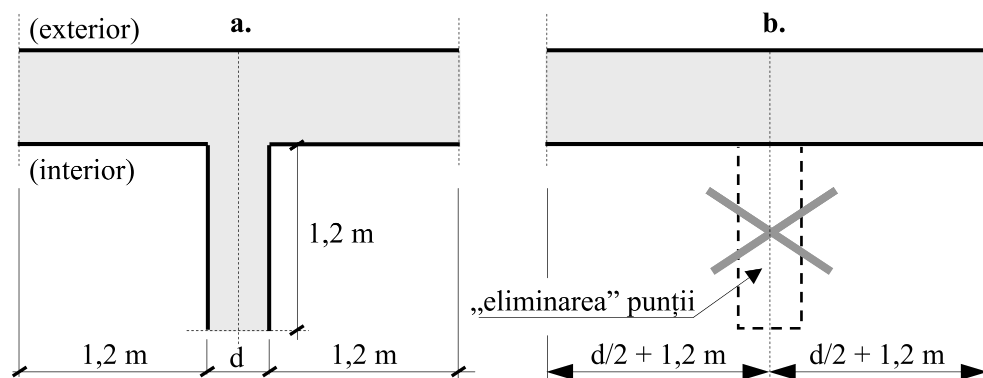


Fig. 5.40. Punte termică la intersecția dintre peretele exterior şi cel interior
a. domeniul modelat numeric 2D;
b. domeniul fără punte (calcul unidirecțional)

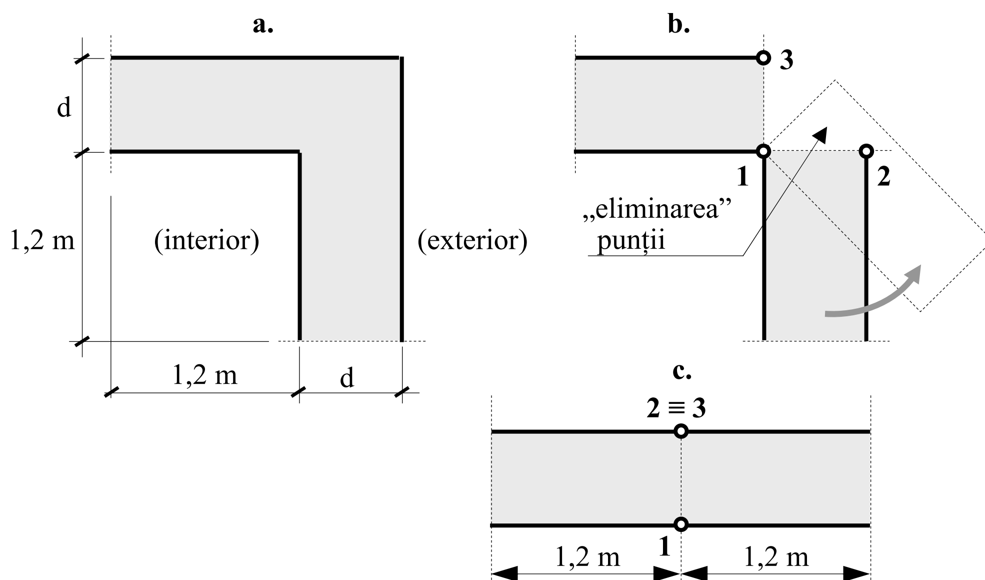


Fig. 5.41. Punte termică la intersecţia dintre doi pereţi exteriori – colţ ieşind
a. domeniul modelat numeric 2D; **b.** modul de „eliminare” a punţii;
c. domeniul fără punte (calcul unidirecţional)

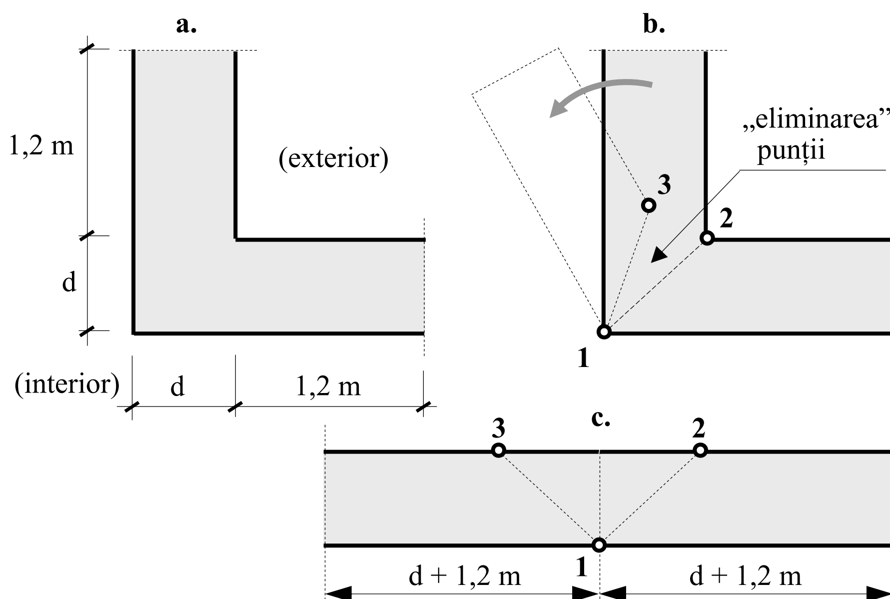


Fig. 5.42. Punte termică la intersecţia dintre doi pereţi exteriori – colţ intrând
a. domeniul modelat numeric 2D; **b.** modul de „eliminare” a punţii;
c. domeniul fără punte (calcul unidirecţional)

În ceea ce priveşte fluxul termic Φ’ ce traversează fiecare punte, acesta trebuie calculat fie prin modelarea numerică a câmpului termic pe domeniul plan definit de secțiunea transversală prin puntea termică liniară, fie prin rezolvarea câmpului termic pe domeniul spațial aferent punții punctuale. În ambele situații este necesară folosirea unui program de calcul capabil să rezolve probleme de câmp termic, de regulă fiind utilizate programe bazate pe metoda elementelor finite.

b. Metodologia de calcul recomandată în normative

Pentru calculul coeficientului liniar de transfer termic ψ şi a celui punctual χ în cadrul Normativului C 107/3 se utilizează două relații alternative, deduse din expresiile de definiție (5.76) şi (5.77):

$$\psi = \frac{\Phi}{\Delta T} - \frac{B}{R} \quad (5.78) \qquad \chi = \frac{\Phi}{\Delta T} - \frac{A}{R} \quad (5.79)$$

unde: Φ – fluxul termic aferent unei punți termice având lățimea B şi lungimea de 1 m (W);

ΔT – căderea totală de temperatură (ºC sau K);

B – lățimea domeniului analizat, considerată la suprafața interioară a elementului, cf. Fig. 5.43 – 5.46 (m);

R – rezistența termică unidirecțională (m^2 ºC/W);

A – aria suprafeței traversate de fluxul termic (m^2).

În Fig. 5.43 – 5.46 sunt reluate tipurile de domenii prezentate în Fig. 5.39 – 5.42. Normativul C 107/3 recomandă pentru zonele adiacente punții adoptarea unor lățimi B = 0,8 ... 1,2 m, funcție de tipul domeniului.

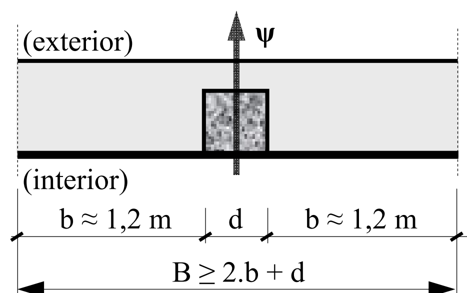


Fig. 5.43. Punte termică în dreptul unui stâlpişor înglobat
Definirea termenului „B” din relația (5.78)

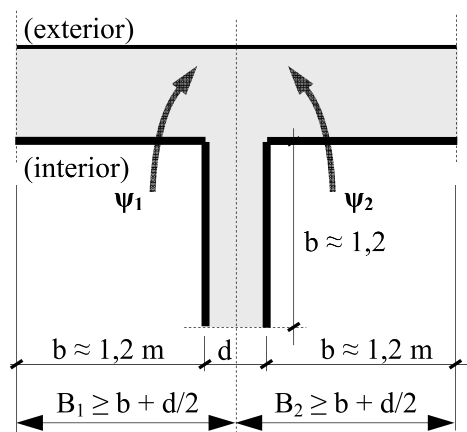


Fig. 5.44. Punte termică la intersecția dintre peretele exterior şi cel interior
Definirea termenului „B” din relația (5.78)

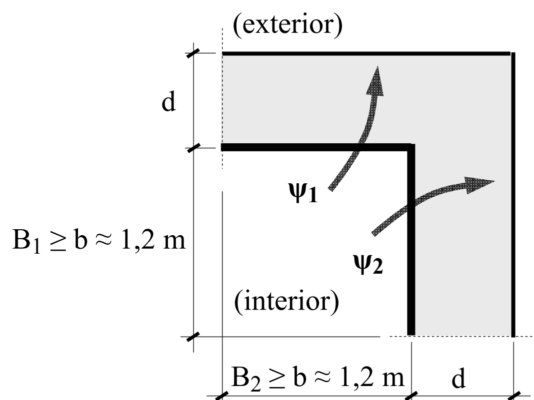


Fig. 5.45. Punte termică la intersecția pereților exteriori – colț ieşind
Definirea termenului „B” din relația (5.78)

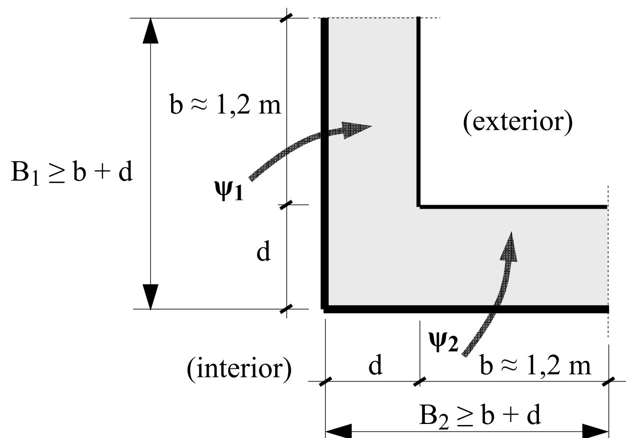


Fig. 5.46. Punte termică la intersecția pereților exteriori – colț intrând
Definirea termenului „B" din relația (5.78)

Relațiile (5.76) şi (5.77) pe de o parte, şi (5.78) şi (5.79) pe de altă parte, conduc la două variante de determinare a coeficienților de transfer termic ψ şi χ, în cadrul aceleiaşi metodologii. Ambele modalități implică acelaşi volum de calcul, dar prima, bazată pe relațiile de definiție, are următoarele avantaje:

- foloseşte expresii mai simple pentru coeficienții de transfer ψ şi χ;
- evidențiază semnificația fizică a coeficienților ψ şi χ, conducând la un mod de lucru transparent, uşor de înțeles; relațiile (5.78) şi (5.79) maschează logica metodei, mai ales că în cadrul Normativului C 107/3 nu sunt date definiții ale acestor coeficienți;
- se evită utilizarea termenului „B" din relația (5.78) prin aplicarea regulilor de eliminare a punților termice, ilustrate în Fig. 5.39 – 5.42.

5.2.12. Coeficientul global de izolare termică

Rezistența termică specifică corectată R' reprezintă o caracteristică termotehnică de bază a elementelor de construcții, fiind un indicator important al nivelului la care cerințele de izolare termică sunt îndeplinite. Totuşi, această mărime caracterizează în mod individual diversele elemente opace, cu funcții de izolare termică, nu şi clădirea în ansamblu. Pot exista situații când, deşi rezistențele termice specifice corectate sunt superioare valorilor minime necesare (normate), pierderile de căldură globale ale clădirii se situează peste nivelul admisibil prevăzut de normele în vigoare. Astfel de cazuri pot să apară, în principal, din următoarele motive:

- aria suprafețelor vitrate exterioare (ferestre, uşi exterioare, pereți vitrați etc.), prin care au loc pierderi semnificative de căldură, are o pondere importantă în cadrul ariei totale a anvelopei clădirii;
- clădirea are o volumetrie atipică, cu raportul dintre aria exterioară (aria anvelopei, prin care au loc pierderi termice) şi volumul total al clădirii mai mare decât la construcțiile cu forme uzuale;
- există infiltrații necontrolate ale aerului exterior, datorită etanşării insuficiente a rosturilor tâmplăriei exterioare şi/sau permeabilității mari la aer a unor elemente de închidere.

În consecință, atât normativele străine, cât şi cele româneşti – Normativele C107/1 şi C107/2 – introduc o mărime termotehnică numită „coeficient global de izolare termică", notat cu G, ce exprimă cantitatea totală de căldură pierdută de clădire în exterior.

Normativul C107/1 conține metodologia de verificare a coeficientului G la clădiri de locuit. În conformitate cu acest normativ, coeficientul global de izolare termică „reprezintă suma pierderilor de căldură realizate prin

transmisie directă prin suprafața anvelopei clădirii, pentru o diferență de temperatură între interior şi exterior de 1ºC (sau 1 K), raportată la volumul clădirii, la care se adaugă pierderile de căldură aferente reîmprospătării aerului interior, precum şi cele datorate infiltrațiilor suplimentare (necontrolate) de aer rece".

Conform definiției, coeficientul global de izolare termică se calculează cu relația:

$$G = \frac{\sum \frac{\Phi_j}{\Delta T}}{V} + c_a . \rho_a . n \qquad (5.80)$$

unde: G – coeficientul global de izolare termică ($W/m^3\,{}^oC$);

Φ_j – fluxul termic ce traversează elementul „j" al clădirii (W);

ΔT – căderea totală de temperatură, adică diferența dintre temperatura convențională a aerului interior şi temperatura convențională a aerului exterior: $\Delta T = T_i - T_e$ (ºC sau K);

V – volumul interior încălzit al clădirii (m^3);

c_a – căldura specifică masică a aerului interior (J/(Kg ºC) sau Ws/(Kg ºC);

ρ_a – densitatea aerului interior (Kg/m^3);

n – viteza de ventilare naturală (rata ventilării), exprimată prin numărul de schimburi de aer pe oră într-un anumit spațiu (apartament, încăpere etc.) (1/h);

$c_a.\rho_a.n$ – pierderile de căldură datorate ventilării clădirii şi, eventual, infiltrațiilor necontrolate de aer, raportate la volumul clădirii şi la diferența de temperatură ΔT ($W/m^{3\,o}C$);

Relația (5.80) poate fi pusă sub o formă mai utilă din punct de vedere al calculelor practice. Astfel, suma din membrul II se poate scrie:

$$\sum \frac{\Phi_j}{\Delta T} = \sum \frac{\frac{\Phi_j}{A_j} A_j}{\Delta T} = \sum \frac{q_j \, . A_j}{\Delta T} = \sum \frac{A_j}{\frac{\Delta T}{q_j}} = \sum \frac{A_j}{R_j^{'}} = \sum L_j \quad (5.81)$$

unde: A_j – aria elementului „j”, cu funcție de izolare termică (m^2); elementele „j” pot fi: pereții exteriori, zonele vitrate exterioare, planşeul de la ultimul nivel, pereți ce despart zone ale clădirii cu temperaturi diferite etc. (m^2);

q_j – fluxul termic unitar mediu (densitatea de flux) a elementului „j” (W/m^2);

R'_j – rezistența termică specifică corectată a elementului „j” (m^2 ºC/W);

L_j – coeficient de cuplaj termic al elementului „j”, egal prin definiție cu raportul A_j/R'_j (W/ºC);

Dacă se ține seama de valorile căldurii specifice masice a aerului interior (c_a = 1000 Ws/KgK) şi ale densității aerului interior (ρ_a = 1.23 Kg/m^3), termenul al doilea din membrul II al relației (5.80) se poate explicita astfel:

$$(c_a . \rho_a) . n = \left(\frac{1000 \, Ws/(KgK)}{3600} \, 1{,}23 \; Kg/m^3 \right) . n \cong 0{,}34 . n \qquad (5.82)$$

(valoarea 3600 se introduce pentru a face trecerea de la secunde la ore)

Cu ajutorul relațiilor (5.81) şi (5.82), expresia (5.80) devine:

$$G = \frac{\sum \frac{\Phi_j}{\Delta T}}{V} + c_a.\rho_a.n = \frac{\sum L_j}{V} + 0{,}34.n \tag{5.83}$$

Din punct de vedere al spațiilor delimitate, elementele de izolare termică ale clădirilor pot fi grupate în două categorii:

- elemente ce delimitează interiorul clădirii de exteriorul acesteia (elemente perimetrale);
- elemente ce delimitează interiorul clădirii de spații construite adiacente, cu temperatură diferită (garaje, subsoluri, poduri, spații comerciale etc.).

Deoarece pierderile de căldură prin elementele perimetrale (în contact cu aerul exterior) sunt diferite de pierderile prin elementele ce delimitează spațiile adiacente, se introduce un factor de corecție adimensional notat cu τ, exprimat cu relația:

$$\tau = \frac{T_i - T_u}{T_i - T_e} \tag{5.84}$$

unde: T_i, T_e – temperatura convențională a aerului interior, respectiv exterior (ºC);

T_u – temperatura aerului interior din spațiile adiacente clădirii (ºC).

În relația (5.84) se observă că pentru $T_u = T_e$ (egalitate valabilă pentru elementele anvelopei în contact cu aerul exterior), rezultă $\tau = 1$.

În final, prin utilizarea rel. (5.83) şi (5.84), relația practică de calcul a coeficientului global de izolare termică va fi:

$$\boxed{G = \frac{\sum (L_j . \tau_j)}{V} + 0{,}34 . n} \tag{5.85}$$

Verificarea nivelului de izolare termică globală se efectuează, conform Normativului C107/1, cu relația:

$$\boxed{G \leq GN} \tag{5.86}$$

în care: GN – coeficientul global normat de izolare termică ($W/m^3 {}^oC$).

Valorile coeficientul global normat de izolare termică pentru clădirile de locuit sunt date în cadrul Normativului C107/1, funcție de numărul N de niveluri şi de raportul A/V dintre aria anvelopei şi volumul încălzit al clădirii.

5.3. Transferul de masă

5.3.1. Mecanismul transferului de masă

La punctele anterioare s-au tratat fenomenele de transfer de căldură, pe baza tendinței naturale a corpurilor, de evoluție către o stare de echilibru termic. Dacă un sistem este alcătuit din unul sau mai mulți componenți în care concentrația variază de la un punct la altul, există de asemeni o tendința de echilibrare, de această dată a concentrațiilor, prin transportul masei din zonele cu concentrație mai ridicată către cele cu concentrație mai redusă. Acest fenomen poartă numele de transfer de masă.

Mecanismul transferului de masă este analog celui de transfer de căldură. Ambele sunt produse de o variație spațială a unui parametru motor: temperatura, în cazul căldurii, şi concentrația (sau presiunea) în cazul masei. De asemenea, intensitatea ambelor procese depinde de gradientul parametrului motor şi de rezistența opusă de mediu la procesul de transfer.

Transferul de masă apare la fluide, atât în faza gazoasă cât şi în faza lichidă, în sistemele gaz – lichid, vapori – lichid, lichid – lichid, cu sau fără transfer de căldură. Aplicațiile tehnice mai importante ale transferului de masă sunt absorbția de gaz, adsorbția unui lichid într-un solid adsorbant, distilarea, extracția de lichide, umidificarea etc.

Transferul de masă se poate face în două moduri: prin difuzie moleculară şi prin difuzie turbulentă.

Transferul de masă prin difuzie moleculară este analog cu transferul de căldură prin conducție termică şi se datorează tendinței naturale de reducere a diferenței de concentrație dintr-un fluid prin mişcarea dezordonată a moleculelor sau atomilor care alcătuiesc fluidul.

Transferul de masă prin difuzie turbulentă este analog transferului de

căldură prin convecție termică şi reprezintă transferul de masă de la o suprafață solidă către un fluid în mişcare. Fenomenul este dependent de proprietățile de transport ale fluidului şi de caracteristicile hidrodinamice ale procesului.

5.3.2. Ecuația diferențială a transferului de masă

Conform legii conservării masei, viteza de variație a cantității de substanță dintr-un volum elementar este egală cu viteza de variație a fluxului de substanță care traversează suprafața volumului, la care se adaugă cantitatea de substanță generată în interiorul volumului elementar. Prin transformări succesive, expresia matematică a acestei legi, în cazul regimului staționar, poate fi adusă în final la forma:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\delta\frac{\partial p_v}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\delta\frac{\partial p_v}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\delta\frac{\partial p_v}{\partial z}\right)=A \tag{5.87}$$

unde: p_V – presiunea parțială a vaporilor de apă din aer (daN/m^2 sau Pa);

A – cantitatea de apă depusă prin condens (g);

δ – coeficient de conductivitate a vaporilor (g/m.h.Pa):

$$\delta=\frac{D}{C_v T R_D} \tag{5.88}$$

D – coeficientul de difuzie a vaporilor prin aerul care umple porii şi capilarele materialelor (m/h);

C_V – constanta gazelor pentru vapori de apă (J/mol.K);

T – temperatura absolută (K);

R_D – rezistența la difuzia vaporilor (m^2.h.Pa/g sau m/h).

Expresia (5.87) reflectă fenomenul real cu anumite simplificări, considerând regimul permanent (staționar) şi neglijând căldura degajată în procesul de condens.

5.3.3. Umiditatea construcțiilor

5.3.3.1. Surse de umiditate

Prezența apei sub formă gazoasă (vapori), lichidă (picături) şi uneori solidă poate avea efecte defavorabile asupra construcțiilor. Aceste efecte se răsfrâng fie asupra microclimatului încăperilor, determinând condiții sanitar–igienice improprii, fie asupra materialelor din elementele construcțiilor, conducând la efecte negative cum ar fi: scăderea capacității de izolare termică, apariția condensului, micşorarea rezistențelor mecanice etc.

Principalele surse de umiditate pentru construcții sunt:

- apa din teren, ce poate afecta fundațiile şi subsolurile;
- apa meteorologică, ce acționează asupra elementelor exterioare sub formă de ploaie sau zăpadă;
- apa higroscopică, datorită umidității aerului interior şi exterior;
- apa inițială datorată tehnologiei de execuție (apa din betoane, mortare etc.);
- apa de exploatare, datorită proceselor umede din anumite încăperi: spălătorii, băi, bucătării etc.;
- apa de condens, datorită condensării vaporilor de apă pe suprafețele sau în interiorul elementelor.

5.3.3.2. Umiditatea aerului

Cantitatea de vapori de apă, exprimată în grame, conținută într-un m^3 de aer, poartă numele de umiditate absolută:

$$\varphi_a = \frac{m_v}{V} \quad (g/m^3) \tag{5.89}$$

Cantitatea maximă de vapori ce poate fi conținută într-un m^3 de aer, la o temperatură T, se numeşte umiditate absolută de saturație, notată cu φ_s.

Raportul între umiditatea absolută şi umiditatea absolută de saturație poartă numele de umiditate relativă (notată φ_r), exprimată procentual cu relația:

$$\varphi_r = \frac{\varphi_a}{\varphi_s} 100 \quad (\%) \tag{5.90}$$

Unei umidități relative φ_r îi corespunde o presiune a vaporilor de apă numită presiune parțială şi notată cu p_v (exprimată în Pa, N/m^2, mmHg etc.). Presiune parțială reprezintă presiunea pe care o exercită vaporii de apă din aer, dacă ar ocupa singuri volumul respectiv.

Umidității absolute maxime (de saturație) φ_s îi corespunde o presiune maximă p_s, denumită presiune de saturație. Atât presiunea parțială cât şi cea de saturație depind de temperatură şi variază direct proporțional cu aceasta.

Umiditatea relativă poate fi exprimată şi ca raport între presiunea parțială şi presiunea de saturație:

$$\varphi_r = \frac{p_v}{p_s} 100 \quad (\%) \tag{5.91}$$

Umiditatea relativă a aerului variază între 30...100% la exterior şi între 30...70% la interior (în încăperi).

Conform relației (5.91), presiunea parțială se poate exprima:

$$p_v = \frac{p_s \varphi_r}{100} \qquad (5.92)$$

5.3.3.3. Umiditatea materialelor

Materialele de construcții pot reține apa sub următoarele forme:

- apa legată chimic, prin reacțiile de formare a structurii interne; această apă nu este influențată de procesul de uscare;
- apa de structură, sau de hidratare, care participă la formarea structurii cristaline a unor materiale;
- apa higroscopică, reținută de materiale prin absorbție sau adsorbție, direct din faza gazoasă;
- apa liberă, reținută mecanic, fără adeziune, prin contactul direct al materialelor cu faza lichidă (infiltrații din ploi sau din procesele funcționale) sau ca urmare a condensării vaporilor pe suprafața şi în masa elementului.

În cazul proceselor de umezire–uscare variază numai apa liberă şi apa legată fizic (de structură şi higroscopică).

Umiditatea materialelor se poate exprima pe bază gravimetrică sau volumetrică, prin raportarea greutății G_a sau volumului V_a al apei conținute, la greutatea G_o, respectiv volumul V_o corespunzătoare materialului uscat:

$$U_g = \frac{G_a}{G_o}\,100 = \frac{G_u - G_o}{G_o}\,100; \qquad U_v = \frac{V_a}{V_o}\,100 \quad (\%) \qquad (5.93)$$

unde: G_u – greutatea materialului umed (daN).

Determinarea conținutului de apă a unui material, respectiv a umidității, se poate face prin metode gravimetrice (uscare şi cântărire), metode electrice (bazate pe variația unui parametru electric cu umiditatea), electronice, radioactive etc.

Pentru o bună comportare în exploatare a elementelor de construcții este necesar ca umiditatea materialelor din care sunt alcătuite să nu depăşească umiditatea higroscopică de echilibru corespunzătoare umidității relative a aerului din încăperi. Umiditatea higroscopică de echilibru corespunde situației în care reținerea apei de către materiale direct din aerul umed încetează, ca urmare a satisfacerii forțelor superficiale de legătură între pereții porilor, micro-capilarelor şi apă, după o staționare corespunzătoare în mediul respectiv.

Exigențele legate de umiditatea elementelor de construcții, alcătuite din diverse materiale, diferă în raport cu funcțiile elementelor şi cu natura materialelor. Elementele care se află în contact permanent cu apa trebuie să fie impermeabile (pardoselile şi pereții din băi şi bucătării, pereții de subsol şi fundațiile în teren umed etc.), iar elementele exterioare de închidere (cu excepția ferestrelor) la care este posibilă apariția condensului la suprafață sau în structură trebuie tratate corespunzător (cu bariere contra vaporilor, straturi de aer ventilat etc.).

5.3.4. Apecierea prin calcul a riscului la condens

Cea mai mare parte a materialelor de construcții, datorită structurii capilar-poroase, permit trecerea vaporilor de apă, ca urmare a diferențelor de presiune parțială, fiind deci permeabile la vapori. Permeabilitatea la vapori a materialelor se poate exprima printr-o caracteristică specifică, similară

coeficientului de conductivitate termică, numită coeficient de conductivitate a vaporilor de apă (δ).

Fizic, acest coeficient, măsurat în g/m.h.Pa, reprezintă cantitatea de vapori de apă (în grame) care trece printr-o suprafață de 1 m^2 a unui material cu grosimea de 1 m, timp de o oră, când există o diferență de presiune parțială a vaporilor de 1 Pa.

Pentru elementele de construcții se definesc permeabilitatea la vapori P_v ($g/m^2.h.Pa$ sau h/m) şi rezistența la permeabilitatea vaporilor R_v ($m^2.h.Pa/g$ sau m/h):

$$P_v = \frac{\delta}{d}; \qquad R_v = \frac{1}{P_v} = \frac{d}{\delta}; \text{ sau } R_v = \sum_j \frac{d_j}{\delta_j} \text{ (structuri în straturi)} \qquad (5.94)$$

Conform normativelor, rezistența la permeabilitatea vaporilor a unui element compus din mai multe straturi paralele între ele şi perpendiculare pe direcția fluxului de vapori, se stabileşte cu relația:

$$R_v = R_{v1} + R_{v2} + ... + R_{vn} = \sum_{j=1}^{n} R_{v,j} = \sum_{j=1}^{n} d_j.\mu_{Dj}.M \qquad (5.95)$$

unde: d_j – grosimea stratului „j” (m);

μ_{Dj} – factorul rezistenței la permeabilitate la vapori a stratului „j”; este o mărime adimensională care indică de câte ori este mai mare rezistența la permeabilitate la vapori a unui material în raport cu rezistența la permeabilitate la vapori a aerului;

M – coeficient de difuzie a vaporilor de apă ($M = 54.10^8$ s^{-1}).

Calculul la condens are ca scop principal stabilirea situațiilor în care este posibilă apariția fenomenului de condens pe suprafața interioară sau în masa (în interiorul) elementelor de construcții.

5.3.4.1. Condensul pe suprafața interioară

Acest fenomen poate avea mai multe cauze:

- creşterea concentrației vaporilor de apă din aerul încăperilor, la temperatură interioară constantă, până la valoarea concentrației de saturație;
- scăderea temperaturii aerului interior până la valoarea la care presiunea parțială a vaporilor devine egală cu presiunea de saturație;
- scăderea temperaturii suprafeței interioare a elementelor de închidere, datorită scăderii temperaturii aerului exterior sau interior.

Temperatura la care presiunea parțială a vaporilor de apă devine egală cu presiunea de saturație, poartă numele de temperatură de rouă θ_r, ale cărei valori sunt întabelate în standard, funcție de umiditatea relativă şi temperatura aerului interior.

Pentru ca fenomenul de condens pe suprafață să nu se producă trebuie ca temperatura T_{si} în orice punct al suprafeței interioare a elementelor cu rol de izolare să verifice relația:

$$T_{si} \geq \theta_r \qquad (5.96)$$

În construcții, fenomenul de rouă apare în special ca urmare a unei exploatări neraționale (surse de vapori cu debit mare, aerisire necorespunzătoare etc.), a încălzirii insuficiente în perioada de iarnă, sau datorită unor elemente cu grad redus de izolare termică. Fenomenul este localizat mai ales în zonele reci (punțile termice): colțurile pereților, îmbinările panourilor prefabricate din beton, centuri, buiandrugi etc.

5.3.4.2. Condensul în interiorul elementelor

Datorită diferenței dintre presiunea parțială a vaporilor de apă din încăperi şi din exterior, în perioada rece a anului există tendința de migrare a vaporilor de apă de la aerul mai cald spre aerul rece, prin elementele de închidere permeabile. Intensitatea fenomenului depinde atât de diferența de presiune parțială cât şi de permeabilitatea la vapori a materialelor.

În cursul migrației prin elementul de construcție vaporii de apă pot ajunge într-o zonă a cărei temperatură să favorizeze condensarea (presiunea parțială a vaporilor atinge valoarea presiunii de saturație). În aceste zone surplusul de vapori se depune sub formă lichidă, provocând umezirea.

Condiția evitării riscului de condens este ca în orice punct din interiorul elementului presiunea parțială a vaporilor să nu atingă valoarea presiunii de saturație.

În ipoteza regimului staționar şi unidirecțional de migrație a vaporilor, valoarea presiunii parțiale (p_{vx}) într-un strat paralel cu suprafețele elementului, situat la distanța „x" de suprafața interioară, se determină cu relația:

$$p_{vx} = p_{vi} - \frac{R_{vx}}{R_v}(p_{vi} - p_{ve}) \qquad (5.97)$$

unde: p_{vi} – presiunea parțială a vaporilor la suprafața interioară a elementului (Pa);

p_{ve} – idem, la suprafața exterioară (Pa);

R_{vx} – rezistența la permeabilitate la vapori pe porțiunea de element de grosime „x" (m^2.h.Pa/g);

R_v – rezistența totală a elementului la permeabilitate la vapori (m^2.h.Pa/g).

Expresia (5.97) este similară cu aceea pentru calculul temperaturii, deoarece fenomenul termic şi cel de difuzie a vaporilor sunt guvernate de ecuații diferențiale cu forme similare.

Valorile presiunii de saturație a vaporilor depind de temperatură şi sunt precizate în standard (sub formă tabelară).

Pe aceste baze, verificarea apariției condensului în interiorul unui element alcătuit din mai multe straturi paralele se efectuează trasând curba presiunilor parțiale a vaporilor şi curba presiunilor de saturație (Fig. 5.47). Dacă aceste curbe se intersectează, în zona respectivă există riscul de apariție a condensului.

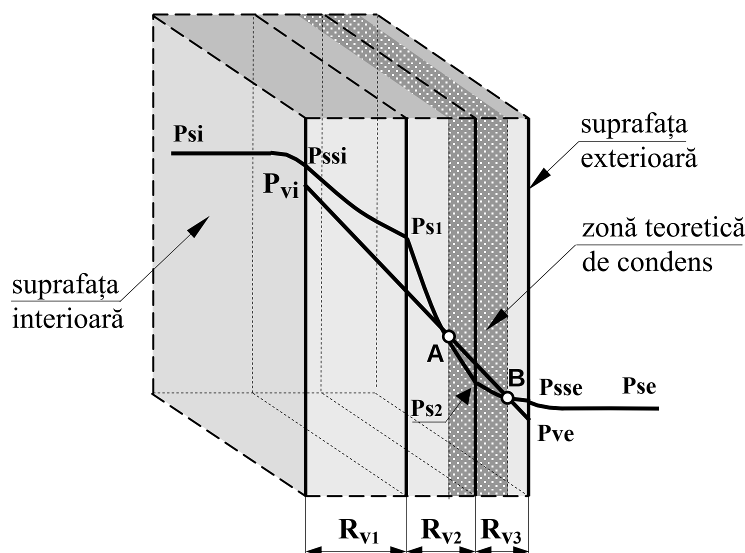


Fig. 5.47. Verificarea la condens în interiorul elementelor

Pentru trasarea curbelor presiunilor se parcurg următoarele faze:

a. Se determină temperaturile la suprafaţa interioară şi exterioară, precum şi la limita dintre straturi, conform metodologiei cunoscute din calculul termic:

$$T_x = T_i - \frac{R_x}{R_o}(T_i - T_e) \tag{5.98}$$

unde: T_i, T_e – temperatura aerului interior, respectiv exterior (ºC);

R_x – rezistenţa termică a zonei situate între suprafaţa interioară a elementului şi un plan aflat la distanţa „x” de aceasta (m^2 ºC/W);

R_o – rezistenţa termică totală a elementului (m^2 ºC/W).

b. Se calculează rezistenţele la trecerea vaporilor pentru fiecare strat „j” al elementului, utilizându-se relaţia (5.95):

$$R_{vj} = d_j \cdot \mu_{Dj} \cdot M \tag{5.99}$$

c. Se stabilesc presiunile de saturaţie ale vaporilor în aerul interior şi exterior (p_{si}, p_{se}) şi la suprafaţa fiecărui strat (p_{ssi}, p_{s1}, p_{s2}, p_{sse}) folosind tabelele şi relaţiile din normativ, funcţie de valorile temperaturii (calculate la punctul a), de valorile rezistenţelor termice ale straturilor şi de zona climatică:

$$p_{sk} = p_{sk,m} + z\left(\sum_{j=1}^{k} \frac{R_{j-1,j}}{R}\right)^2 \tag{5.100}$$

unde: p_{sk} – presiunile corectate de saturaţie ale vaporilor de apă la limitele dintre straturile elementului (Pa);

$p_{sk,m}$ – presiunile de saturație ale vaporilor de apă funcție de temperatura T_k, conform tabelului corespunzător din normativ (Pa);

z – coeficient de corecție funcție de zona climatică în care este situată clădirea din care face parte elementul calculat;

$R_{j-1,j}$ – rezistența termică unidirecțională a stratului dintre suprafețele j-1 şi j (m^2 ºC/W);

$\sum_{j=1}^{k} R_{j-1,j}$ – suma rezistențelor $R_{j-1,j}$ ale straturilor elementului de construcție, dintre suprafața interioară şi suprafața „k” (m^2 ºC/W);

R – rezistența termică unidirecțională totală a elementului (m^2 ºC/W).

Deoarece curba presiunii de saturație are o variație neliniară, sub forma unor arce de parabolă aplatizate, este necesar ca valorile acesteia să fie calculate şi în puncte intermediare pe grosimea fiecărui strat (cel mai simplu într-un singur punct, în centrul stratului).

d. Se determină presiunile parțiale ale aerului interior p_{vi} şi exterior p_{ve}, folosind relația (5.92):

$$p_{vi} = \frac{p_{si}\varphi_i}{100}; \quad p_{ve} = \frac{p_{se}\varphi_e}{100} \tag{5.101}$$

unde: p_{si}, p_{se} – presiunea de saturație a aerului interior, respectiv exterior (Pa);

φ_i, φ_e – umiditatea relativă a aerului interior, respectiv exterior (%).

e. Se reprezintă grafic elementul considerat (Fig. 5.47). Este recomandabil ca desenul să se facă la scara rezistențelor la permeabilitatea vaporilor (nu la scară geometrică). În acest mod presiunea parțială are o variație liniară pe

întreaga grosime a elementului, chiar dacă acesta este alcătuit din mai multe straturi cu caracteristici diferite, şi astfel calculul presiunilor parțiale va fi necesar doar la suprafața interioară şi exterioară. Dacă se lucrează la scară geometrică, presiunile parțiale se vor determina cu ajutorul relației (5.97) şi la limita dintre straturile elementului.

f. Se reprezintă grafic, pe baza valorile calculate la punctele c şi d, presiunea parţială şi presiunea de saturație şi se verifică dacă cele doua grafice se intersectează sau nu (există sau nu există posibilitatea de apariție a condensului).

În cazul în care curbele se intersectează, fâşia definită de cele două puncte de intersecție A şi B (Fig. 5.47) constituie zona de condens din interiorul elementului. Aceasta este considerată ca fiind o zonă teoretică, întrucât curba presiunilor parțiale pe segmentul AB nu are sens fizic (presiunea parţială nu poate depăşi presiunea de saturație). Pentru determinarea grafică a zonei reale de condens se duc tangente la curba presiunilor de saturație (Fig. 5.48), conform metodologiei propuse de Glaser, zona reală de condens rezultând mai restrânsă.

În situația apariției condensului este necesară determinarea temperaturii aerului exterior $T_{e\,cond}$ de la care începe fenomenul de condens. Calculul se realizează prin încercări, adoptând pentru temperatura exterioară valori din ce în ce mai mici, până când curba presiunilor parțiale devine tangentă la curba presiunilor (necorectate) de saturație. Funcție de temperatura $T_{e\,cond}$ astfel determinată, se adoptă din standard durata N_w (în ore) a perioadei de condensare, precum şi temperatura exterioară medie T_{es} pe această durată. Cu aceste date se trasează noile grafice ale presiunii parțiale p_v şi presiunii de saturație p_s, considerându-se T_{es} ca temperatură exterioară.

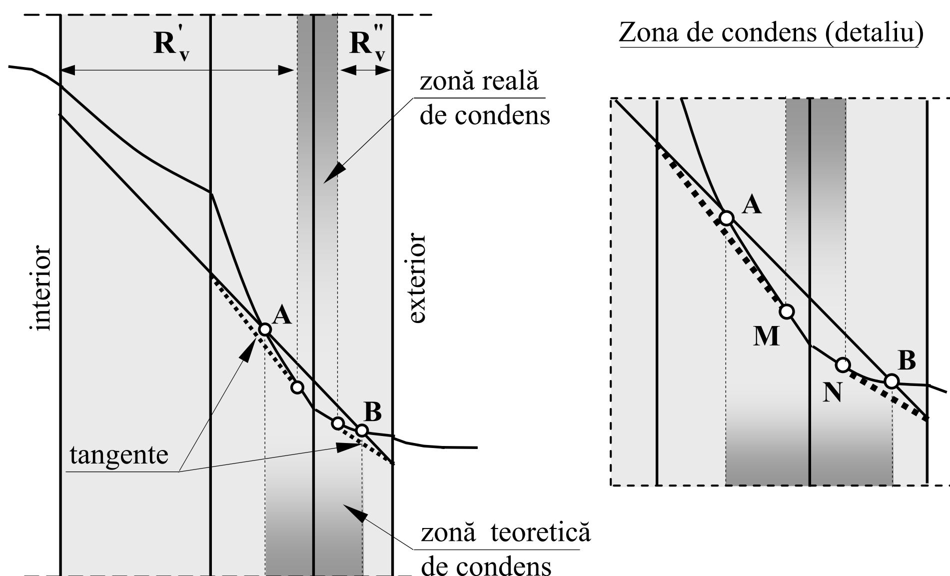


Fig. 5.48. Determinarea grafică a zonei reale de condens

Cu ajutorul valorilor astfel determinate, conform normativelor în vigoare trebuie efectuate următoarele verificări:

a. Se calculează cantitatea totală de vapori de apă m_w ce se poate acumula în element în perioada de iarnă:

$$m_w = 3600\left(\frac{p_{vi} - p_{sM}}{R_v^{'}} - \frac{p_{sN} - p_{ve}}{R_v^{''}}\right)N_w \qquad (5.102)$$

unde: m_w – cantitatea de apă condensată (Kg/m²);

p_{vi}, p_{ve} – presiunile parțiale ale vaporilor din aerul interior/exterior (Pa);

p_{sM}, p_{sN} – presiunile de saturație (egale cu cele parțiale) ale vaporilor, pe suprafețele zonei de condens (corespunzătoare punctelor M şi N, Fig. 5.48) (Pa);

$R_v^{'}, R_v^{''}$ – rezistențele la permeabilitatea vaporilor ale zonelor elementului cuprinse între suprafața sa interioară şi frontiera verticală din stânga zonei de condens, respectiv între frontiera verticală din dreapta zonei de condens şi suprafața exterioară a elementului, cf. Fig. 5.48 ($m^2.h.Pa/g$);

N_w – numărul de ore al perioadei în care are loc fenomenul de condensare (h).

b. Se determină cantitatea totală de vapori de apă m_v ce s-ar putea evapora din element în perioada de vară:

$$m_v = 3600\left(\frac{p_{vi} - p_{sM}}{R_v^{'}} - \frac{p_{sN} - p_{ve}}{R_v^{''}}\right)N_v \qquad (5.103)$$

unde: m_v – cantitatea de apă evaporată (Kg/m^2);

N_v – numărul de ore al perioadei în care are loc fenomenul de evaporare (h).

Calculul se efectuează cu o valoare a temperaturii exterioare $T_{es}^{'}$, determinată în mod analog ca temperatura T_{es}.

c. Se verifică acumularea progresivă de apă în interiorul elementului, de la un an la altul, datorită fenomenului de condens. Cantitatea de apă m_w provenită din condensarea vaporilor în perioada rece a anului trebuie să fie mai mică decât cantitatea de apă m_v care se poate evapora în perioada caldă, ceea ce implică verificarea relației:

$$m_w < m_v \qquad (5.104)$$

d. În afară de satisfacerea condiției (5.104), este necesar ca nivelul de umezire al materialului în care are loc condensul să fie suficient de redus, pentru a nu afecta semnificativ caracteristicile sale termofizice şi mecanice.

Astfel, creşterea umidității ΔW la sfârşitul perioadei de condensare nu trebuie să depăşească valorile maxime admisibile ΔW_{adm} prevăzute în normativ, funcție de caracteristicile higrotermice ale materialelor din zona de condens:

$$\Delta W = \frac{100\ m_w}{\rho\, d_w} \leq \Delta W_{adm} \tag{5.105}$$

unde: ρ – densitatea materialului în care s-a produs condensul (Kg/m^3);

d_w – grosimea zonei în care se acumulează umiditatea (m).

În afară de metodologia de calcul prezentată mai sus, pentru prevenirea fenomenelor de condens este necesară respectarea unor reguli de alcătuire a elementelor şi de exploatare a clădirii, cele mai importante fiind:

- asigurarea unei ventilări naturale corespunzătoare a spațiilor interioare, în special a acelora unde au loc degajări importante de vapori (băi, bucătării etc.), prin prevederea canalelor de ventilare şi a unor grile de aerisire la geamuri;
- asigurarea unui regim corect de încălzire în perioada rece a anului, prin asigurarea temperaturii aerului interior la valoarea de minim 20ºC şi a temperaturii pe suprafețele interioare ale elementelor anvelopei clădirii la valori superioare punctului de rouă;
- folosirea unor bariere de vapori, dispuse de regulă pe fața caldă a stratului de termoizolație;
- limitarea punților termice şi corectarea celor ce nu pot fi evitate, şi/sau folosirea elementelor de construcții prevăzute cu strat de aer ventilat.

Capitolul 6
Noțiuni de acustica construcțiilor

6.1. Generalități

Sunetele sunt vibrații transmise printr-un mediu elastic sub formă de unde. Pentru anumite valori ale intensității şi frecvenței sunetele sunt percepute de urechea omenească, producând senzații auditive.

Sunetele pot fi simple sau complexe. Sunetele supărătoare, indiferent de natura lor, reprezintă zgomote. Acestea au o influență dăunătoare asupra sistemului nervos, provocând o stare de oboseală. Din acest motiv izolările fonice sunt necesare, atât la clădirile civile cât şi la cele industriale, pentru a opri răspândirea zgomotelor ce se produc în interiorul şi în exteriorul construcțiilor.

Problemele specifice acusticii construcțiilor sunt:

a. protecția împotriva zgomotelor şi vibrațiilor; această categorie de probleme se poate rezolva prin:
   - reducerea intensității zgomotelor la sursă;

- atenuarea zgomotelor la trecerea prin elementele de închidere (izolații fonice).

b. asigurarea condițiilor optime de audiție în săli, prin următoarele măsuri:

- tratamente acustice absorbante, pentru a reduce reflexia necontrolată a sunetelor şi efectele sale negative;
- dirijarea convenabilă a sunetelor utile, pe baza reflexiei controlate.

Realizarea unor clădiri corespunzătoare din punct de vedere acustic impune necesitatea cunoaşterii modului de propagare şi de percepere a sunetelor şi zgomotelor şi, pe de altă parte, analiza proprietăților acustice ale materialelor şi elementelor componente ale clădirilor.

Sunetele se pot propaga prin aer, în care caz se numesc sunete sau zgomote aeriene, sau prin medii solide (elemente de construcții), fiind numite sunete sau zgomote structurale.

Zgomotele produse de lovituri se numesc zgomote de impact şi se transmit atât prin structură (elemente) cât şi prin aer.

Sunetele pot fi studiate şi apreciate sub două aspecte:

a) Fenomen fizic (obiectiv), produs prin vibrația mecanică a corpurilor solide şi fluide. În acest caz sunetele sunt caracterizate prin mărimi specifice oscilațiilor (undelor): amplitudine, perioadă, lungime de undă, frecvență, pulsație, precum şi prin mărimi energetice: energie sonoră, presiune sonoră, intensitate sonoră etc.

b) Fenomen fiziologic (subiectiv), prin care se înțelege senzația percepută de organele auditive. În această situație sunetele se caracterizează prin: înălțime, timbru, nivel de tărie sonoră.

6.2. Sunetul ca fenomen fizic

6.2.1. Unde acustice

Sunetul este o formă de energie şi este produs de vibraţia corpurilor, transmisă prin aer şi recepţionată în final de ureche. Oscilaţiile ce se propagă în spaţiu formează o undă, sub formă de comprimări şi dilatări succesive ale mediului de propagare (Fig. 6.1). Particulele mediului nu se deplasează odată cu unda elastică, ci efectuează o mişcare alternativă în jurul poziţiei lor de echilibru, mijlocind transferul vibraţiilor, dar fără a se deplasa odată cu acestea.

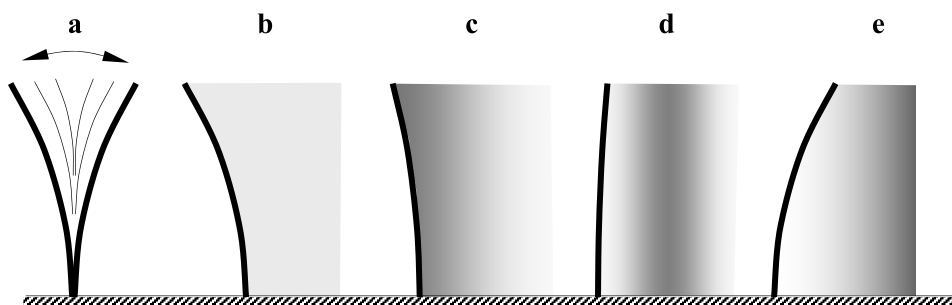


Fig. 6.1. Transmiterea prin aer a undelor sonore
a. vibraţia unei lame elastice;
b, c, d, e. faze de comprimare şi destindere ale aerului

Modul de propagare al undelor depinde de natura mediului. În fluide (lichide şi gaze) apar numai unde longitudinale, pe când în solide pot să apară atât unde longitudinale cât şi unde transversale.

Caracteristicile de bază ale undelor sonore sunt enumerate şi descrise pe scurt în cele ce urmează.

a. Viteza de propagare (c)

Reprezintă lungimea parcursă de unda acustică într-un mediu elastic, în unitatea de timp. Determinarea vitezei undelor se poate efectua cu ajutorul formulei lui Newton:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \qquad (6.1)$$

unde: E – modulul de elasticitate al mediului de propagare (N/m^2);

ρ – densitatea mediului (Kg/m^3).

Expresia (6.1) capătă forme diferite, funcție de mediul prin care are loc transmisia sonoră (solid, lichid sau gazos). În Tabelul 6.1 sunt prezentate valorile vitezei sunetelor în diverse medii.

Tabel 6.1.

Nr. crt.	**Mediul de transmisie a sunetelor**	**Densitate** (Kg/m^3)	**Viteza sunetului** (m/s)
1	Aer (la 20ºC)	1.2	344
2	Apă	1000	1450
3	Oțel	7850	5100
4	Aluminiu	2600	5104
5	Beton	2200	4000
6	Lemn de brad	510	4700
7	Zidărie cărămidă plină	1800	4000
8	Sticlă	2400	6000
9	Cauciuc	1000...2000	40...200
10	Plută	250	500

După cum se poate remarca din tabel, materialele compacte (oțel, beton, sticlă) permit o bună propagare a sunetelor, pe când materialele mai puțin compacte şi mai uşoare (cauciuc, plută) se opun trecerii sunetelor.

b. Lungimea de undă (λ)

Reprezintă distanța dintre două puncte succesive în care au loc concomitent comprimări sau dilatări ale mediului elastic prin care se transmit undele sonore, şi se măsoară în unități de lungime. Pentru sunete lungimea de undă este cuprinsă în intervalul $\lambda = 0{,}03...20$ m.

c. Frecvența de oscilație (f)

Este definită de numărul de vibrații (oscilații) pe secundă şi se măsoară în Hz (Hertz) sau 1/s (1 Hz = 1 perioadă pe secundă). Urechea omenească poate percepe sunetele din intervalul de frecvență $f = 16...20\,000$ Hz. Vibrațiile cu frecvența sub 20 Hz se numesc infrasunete, iar cele cu frecvența mai mare de 20 000 Hz ultrasunete. În construcții interesează în special intervalul de frecvență 100...6400 Hz.

d. Perioada de oscilație (T)

Timpul în care se efectuează o oscilație completă, măsurat în secunde, poartă numele de perioadă de oscilație.

Între viteza de propagare, lungimea de undă, frecvența de oscilație şi perioada de oscilație ce caracterizează undele sonore, există următoarele relații:

$$f = \frac{1}{T}; \quad c = f.\lambda; \quad \lambda = c.T \tag{6.2}$$

6.2.2. Caracteristici de bază ale sunetului

a. Presiunea acustică

Deoarece vibrația unui corp provoacă dilatări şi contractări ale mediului fluid învecinat (de exemplu aerul), rezultă o variație de presiune, aceasta având valori mai mari în cazul comprimării particulelor, sau mai mici în cazul rarefierii (Fig. 6.2).

Pentru măsurarea presiunii sonore se foloseşte unitatea de presiune sonoră numită „bar", definită prin: 1 bar = 10^5 N/m^2 = 10^5 Pa. De exemplu, şoapta creează în aer la distanța de 1 m o presiune sonoră de 0.01 bari, strigătul 10 bari iar un motor de avion cca. 200 bari.

b. Intensitatea acustică

Datorită propagării undelor acustice, într-un mediu elastic se transmite o anumită energie. Cantitatea de energie acustică ce cade în unitatea de timp pe o suprafață se numeşte flux de energie acustică.

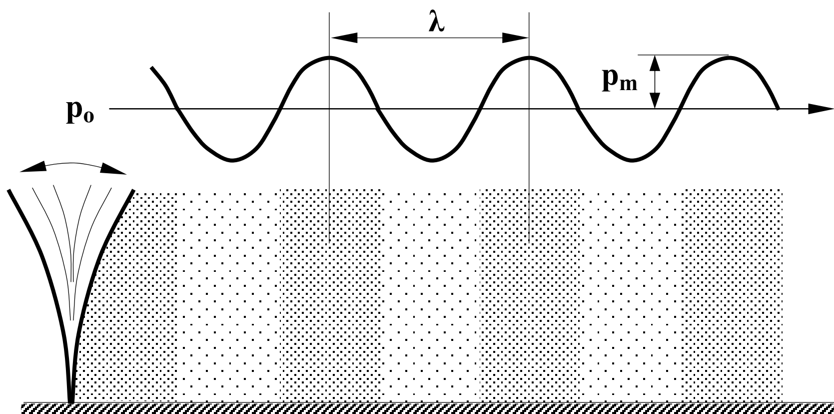


Fig. 6.2. Presiunea undei sonore
p_o – presiunea statică (atmosferică); p_m – presiunea maximă

Prin intensitate acustică se înțelege fluxul de energie sonoră ce cade pe unitatea de suprafață:

$$I = \frac{\Phi}{S} \qquad (6.3)$$

unde: I – intensitatea acustică (W/m^2);

Φ – flux de energie acustică (W);

S – suprafața supusă acțiunii sonore (m^2).

Intensitatea acustică poate fi definită şi ca produs între energia acustică W şi viteza sunetului c:

$$I = W.c = \frac{p^2}{\rho.c} \qquad (6.4)$$

unde: W – energia acustică (J sau Ws);

c – viteza sunetului (m/s);

p – presiunea efectivă a sunetului, definită ca medie pătratică a presiunii acustice instantanee în intervalul unei perioade, pentru un punct al mediului (Pa sau N/m^2);

ρ – densitatea mediului ($Kg/\ m^3$).

c. Nivelul de intensitate sonoră

Cel mai slab sunet care poate fi perceput de om, la frecvență de 1000 Hz, are intensitatea acustică $I_0 = 10^{-12}\ W/m^2$. Pe de altă parte, s-a constatat experimental că senzația auditivă creşte cu logaritmul excitației. Datorită acestui fapt şi pentru a evita dificultățile practice legate de folosirea unor numere foarte mici ($10^{-12}...10^0$), pentru caracterizarea comodă a nivelului

acustic se utilizează o scară logaritmică, raportată la o intensitate de referință, conform relației:

$$L_i = \log I - \log I_0 = \log \frac{I}{I_0} \quad (6.5)$$

unde: L_i – nivelul intensității sonore (Beli);

I – intensitatea acustică (W/m^2);

I_o – intensitatea acustică de referință (W/m^2); reprezintă, prin definiție, pragul inferior al intensității auditive ce poate fi percepută de om, la frecvența de 1000 Hz;

log – logaritmul în baza 10.

Subunitatea curent folosită în calcule şi măsurători este decibelul (notat dB), în care caz relația (6.5) devine:

$$L_i = 10.\log \frac{I}{I_0} \quad (6.6)$$

Nivelul (pragul) minim al intensității sonore ce poate fi percepută de om este:

$$L_i = 10.\log \frac{I}{I_0} = 10.\log \frac{I_0}{I_0} = 10.\log 1 = 0 \text{ dB} \quad (6.7)$$

Nivelul (pragul) maxim, ce corespunde intensității sonore I_{max} = 1 W/m^2 (perceput ca debut al unei senzații dureroase), are valoarea:

$$L_i = 10.\log \frac{I_{max}}{I_0} = 10.\log \frac{1}{10^{-12}} = 10.\log 10^{12} = 10.12.\log 10 = 120 \text{ dB} \quad (6.8)$$

d. Nivelul de presiune sonoră

Deoarece presiunea acustică, spre deosebire de intensitatea sunetului, este măsurabilă, se defineşte noțiunea de nivel de presiune sonoră cu ajutorul relației:

$$L_p = 10.\log\left(\frac{p}{p_0}\right)^2 = 20.\log\frac{p}{p_0} \qquad (6.9)$$

unde: p – presiunea acustică (Pa sau N/m^2);

p_o – presiunea de referință, corespunzătoare pragului inferior de audibilitate la frecvența de 1000 Hz ($p_o = 2.10^{-5}$ N/m^2).

6.3. Sunetul ca fenomen fiziologic

Sursele sonore determină oscilații care, între anumite limite, pot fi percepute prin intermediul organelor auditive, producând o anumită senzație auditivă. Cunoaşterea mecanismului auditiv, a raportului între excitația fizică şi percepția fiziologică, sunt probleme importante nu numai în medicină, dar şi în ingineria construcțiilor. Studierea acestor probleme a permis stabilirea unor metode de măsurarea a zgomotului, a unor niveluri admisibile, a unor criterii de comportare a sălilor etc.

Principalele caracteristicile ale sunetului, privit ca fenomen fiziologic, sunt :

a. Înălțimea sunetului

Sunetele produse de un număr mic de vibrații, adică cele cu frecvență mică, se numesc sunete joase, iar cele produse de un număr mare de vibrații se numesc sunete înalte. Înălțimea sunetului este o caracteristică a senzației auditive prin care pot fi diferențiate sunetele joase de cele înalte, în raport

cu frecvența oscilațiilor care le-au produs. Experimental s-a arătat că înălțimea nu este funcție numai de frecvență, ci şi de nivelul presiunii sonore, deoarece sensibilitatea organului auditiv la variația înălțimii sunetului descreşte odată cu scăderea nivelului de intensitate sonoră.

b. Tăria sunetului

Este o însuşirea a senzației auditive, datorită căreia sunetele sunt percepe ca fiind slabe sau puternice. O mărime des utilizată este nivelul de intensitate auditivă (L_a), ce constituie corespondentul auditiv al nivelului de intensitate sonoră, şi se defineşte conform relației:

$$L_a = 10.\log\frac{I_a}{I_{a,0}} = 20.\log\frac{p_a}{p_{a,0}} \qquad (6.10)$$

unde: I_a, p_a – intensitatea, respectiv presiunea auditivă a sunetului;

$I_{a,o}$, $p_{a,o}$ – intensitatea, respectiv presiunea auditivă de referință.

Unitatea de măsură a nivelului de intensitate auditivă este fonul, ce reprezintă nivelul de tărie a sunetului etalon cu frecvența de 1000 Hz, a cărui presiune acustică este egală cu presiunea de prag (presiunea acustică minimă, pentru o frecvență dată, care produce o senzație auditivă perceptibilă de către om: $p_{a,o} = 2.10^{-5}$ N/m^2).

Pentru sunetele cu frecvența de 1000 Hz valoarea nivelului intensității sonore, exprimate în dB şi valoarea intensității auditive, exprimate în foni, sunt egale, având acelaşi nivel de referință. În practică, se poate considera acceptabilă aproximația echivalenței între dB şi fon, în domeniul de frecvențe audibile. În Tabelul 6.2 sunt centralizate valori ale nivelului de intensitate auditivă, în situații mai des întâlnite.

Tabel 6.2.

Nr. crt.	Condiții practice	L_a (foni)
1	Foşnetul frunzelor	10
2	Stradă liniştită, cu locuințe	30
3	Stradă cu circulație moderată	60
4	Birou de copiat acte cu maşini de scris	70
5	Discotecă	110
6	Motor avion, la distanță de cca. 5 m	120
7	Turboreactoare	170

c. Timbrul

În raport cu frecvența, un sunete poate fi pur sau complex. Sunetul pur este produs de o vibrație armonică (vibrație ce poate fi reprezentată prin funcții trigonometrice simple, sinusoidale sau apropiate de o sinusoidă), pe o singură frecvență. Sunetul complex conține un anumit număr de sunete pure: un sunet fundamental, cu frecvența cea mai joasă, şi o serie de sunete cu frecvență superioară celei fundamentale.

Sunetele muzicale sunt sunete complexe la care frecvențele componentelor sunt multiplii întregi ai frecvenței fundamentale. Dacă această regulă nu este respectată, sunetul respectiv poartă denumirea de zgomot.

Caracteristica prin care se pot deosebi două sunete cu aceeaşi frecvență fundamentală, dar cu număr de armonice diferite, poartă numele de timbru.

În concluzie, după senzația auditivă pe care o produc, sunetele se împart în: sunete pure, sunete muzicale şi zgomote.

6.4. Absorbția acustică. Reverberația

6.4.1. Absorbția acustică

Când undele acustice întâlnesc un obstacol suferă modificări ale direcției de propagare şi ale caracteristicilor energetice. Astfel, o parte din energia sonoră se reflectă (E_r), o parte este absorbită de element (E_a) şi o parte (E_t) se transmite prin element în spațiile învecinate:

$$E = E_r + E_a + E_t \tag{6.11}$$

Raportul dintre energia acustică absorbită şi cea incidentă se numeşte coeficient de absorbție, ce variază funcție de natura materialului şi de frecvența sunetului:

$$\alpha_a = \frac{E_a}{E} \tag{6.12}$$

Coeficientul de absorbție pentru materialele de construcții compacte (oțel, beton, cărămidă, lemn) are valori mici, de cca. 0,02...0,08, deoarece în aceste cazuri energia acustică reflectată este mare. Materialele poroase (vată minerală, pâslă, plută) au proprietăți bune de absorbție a sunetului (α_a = 0,2...0,8).

Absorbția acustică a unei încăperi se determină cu relația:

$$A = \sum \alpha_i S_i \tag{6.13}$$

unde: α_i – coeficientul de absorbție al materialului suprafeței S_i;

S_i – suprafața elementului de construcție „i”, sau a obiectelor din încăpere (m^2).

6.4.2. Reverberația

Un sunet emis intr-o încăpere suferă numeroase reflexii pe suprafețele elementelor limitatoare şi a obiectelor din interior, rezultând o suprapunere a undelor reflectate care determină întărirea şi prelungirea sunetului după încetarea emisiei. Acest fenomen poartă numele de reverberație. Reverberația este mai evidentă în încăperile mari şi intervine nefavorabil asupra calităților audiției.

Reverberația reprezintă amortizarea energiei acustice într-o încăpere închisă, concretizată prin prelungirea sunetului după încetarea emisiei sursei. Durata de reverberație este prin definiție (convenție) intervalul de timp în care nivelul acustic într-o încăpere scade cu 60 dB după încetarea sursei sonore.

6.5. Determinarea caracteristicilor de izolare acustică

6.5.1. Zgomote aeriene

a) Determinarea prin calcul a indicelui de izolare acustică

Elementele de construcție cu rol de închidere sau cele de compartimentare trebuie să asigure o atenuare corespunzătoare a zgomotelor transmise prin aer din exterior sau din încăperile învecinate, astfel încât nivelul de zgomot efectiv dintr-o încăpere să nu depăşească un anumit nivel admisibil. În acest scop este necesar ca gradul (sau indicele) de izolare acustică efectiv (R_{aef}) al elementului să fie mai mare sau cel puțin egal cu gradul de izolare necesar (R_{an}), stabilit funcție de nivelul teoretic al zgomotului perturbator (L_t) şi nivelul admisibil (L_{ad}) corespunzător cerințelor de confort acustic:

$$R_{a\,ef} \geq R_{an}; \qquad R_{an} = L_t - L_{ad} \qquad (6.14)$$

Indicele efectiv de izolare acustică a unui element se poate determina pe cale analitică, cu ajutorul unor relații simplificate care țin seama de variația logaritmică a gradului de izolare acustică cu masa elementului (legea masei). Pentru un perete monostrat se poate utiliza o relație de forma:

$$R_{a\,ef} = k_1 \log m + k_2 \qquad (6.15)$$

unde: m – masa elementului (Kg);

k_1, k_2 – coeficienți funcție de masa elementului şi de structura peretelui.

Pentru un perete alcătuit din două straturi între care există o lamelă de aer:

$$R_{a\,ef} = k_1 \log(m_1 + m_2) + k_2 + \Delta R \qquad (6.16)$$

unde: m_1, m_2 – masele celor două straturi (Kg);

ΔR – sporul de izolare al stratului de aer (dB).

Pentru evaluarea gradului real de izolare acustică trebuie să se ia în considerare şi absorbția din camera studiată:

$$R'_{a\,ef} = R_{a\,ef} + 10.\log \frac{A}{S} \qquad (6.17)$$

unde: A – absorbția acustică totală a încăperii;

S – suprafața interioară a elementelor de construcție ale încăperii.

Valorile indicilor de izolare acustică determinați cu relațiile (6.15)...(6.17) se consideră valori medii pentru frecvența de 500 Hz, ce reprezintă media geometrică a frecvențelor de 50 şi 5000 Hz.

În concluzie, îmbunătățirea gradului de izolare acustică la zgomot aerian al elementelor se poate face pe baza creşterii masei, fie prin majorarea grosimii fie prin adoptarea unor materiale cu densitate mai mare.

b) Determinarea experimentală a indicelui de izolare acustică

Se realizează în stația acustică, alcătuită din două încăperi alăturate, una de emisie şi cealaltă de recepție, elementul analizat fiind montat în golul dintre acestea (Fig. 6.3). Indicele efectiv de izolare acustică a elementului testat se determină cu relația:

$$R'_{a\,ef} = L_1 - L_2 + 10.\log\frac{S}{A} \tag{6.18}$$

unde: L_1, L_2 – nivelurile de zgomot măsurate în camera de emisie, respectiv de recepție (dB);

S – suprafața elementului analizat (m^2);

A – suprafața de absorbție echivalentă a camerei de recepție (m^2).

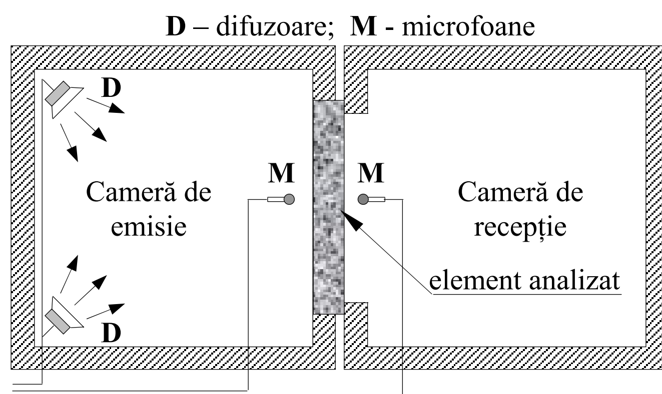


Fig. 6.3. Analiza experimentală a zgomotelor aeriene

Suprafaţa de absorbţie echivalentă se determină prin măsurători, folosind relaţia:

$$A = 0{,}163\frac{V}{T} \tag{6.19}$$

unde: V – volumul camerei de recepţie (m^3);

T – durata de reverberaţie (s).

6.5.2. Zgomote de impact

Zgomotele de impact sunt produse prin acţiunea directă (prin şoc) asupra elementelor de construcţii şi, la clădirile obişnuite, apar în special datorită circulaţiei în încăperi, a deplasării mobilierului, a unor lovituri pe planşee etc.

Datorită impactului, elementul de construcţie intră în vibraţie, transformând o parte din energia primită în energie acustică, pe care o transmite mediului sub formă de unde sonore.

Din punct de vedere practic interesează în primul rând caracteristicile de izolare la zgomot de impact ale complexului planşeu-pardoseală.

Gradul de izolare la zgomot de impact al planşeelor este dificil de apreciat prin calcul, recurgându-se la mijloace experimentale prin utilizarea unui dispozitiv (ciocan) standardizat (Fig. 6.4).

Întrucât în camera de recepţie se înregistrează, în afară de zgomotul direct transmis de elementul de planşeu analizat, şi zgomotele reflectate, nivelul zgomotului de impact se determină folosind relaţia (6.20).

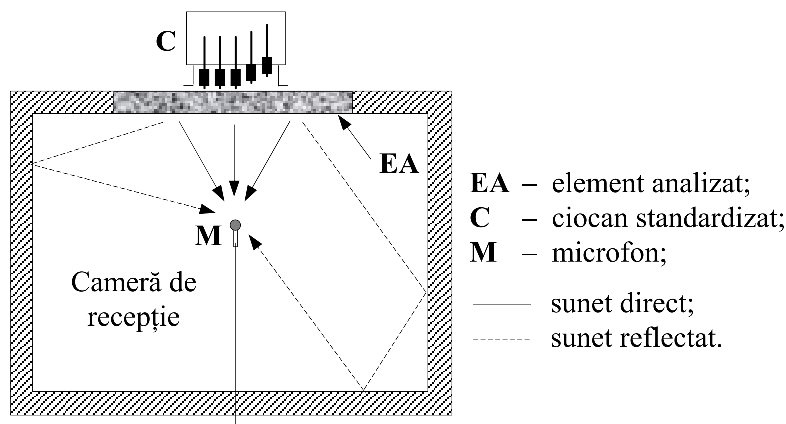


Fig. 6.4. Analiza experimentală a zgomotelor de impact

$$L_n = L - 10.\log\frac{A_0}{A} \qquad (6.20)$$

(semnul minus se foloseşte datorită faptului că $\log(A_o/A) < 0$)

unde: L_n – nivelul normalizat al zgomotului de impact (dB);

L – nivelul zgomotului înregistrat în camera de recepţie (dB);

A_o – suprafaţa de absorbţia acustică de referinţă ($A_o = 10$ m^2);

A – suprafaţa de absorbţia acustică a camerei de recepţie (m^2).

Rezultatele obţinute cu ajutorul ciocanului standardizat trebuie interpretate cu atenţie, întrucât spectrul zgomotului înregistrat (graficul de variaţie al nivelului zgomotului funcţie de frecvenţă) diferă de cel rezultat în situaţiile reale, atât ca mărime cât şi ca distribuţie pe frecvenţe. Aceasta se datorează faptului că în clădiri zgomotele de impact se transmit şi prin căile colaterale constituite de elementele de construcţie aflate în legătură cu elementul pe care se produce şocul, căi ce sunt eliminate în cazul încercărilor în staţia acustică.

Prezența pardoselii conduce la o creştere a gradului de izolare fonică a planşeului, atât la zgomote de impact cât şi la cele aeriene, datorită amortizărilor locale ale oscilațiilor. Determinarea aportului pardoselii se face în stația acustică, utilizându-se relația:

$$\Delta L_n = L_{n,0} - L_{n,1} \tag{6.21}$$

unde: ΔL_n – aportul suplimentar de izolare fonică datorită pardoselii (dB);

$L_{n,o}$ – nivelul zgomotului măsurat la planşeul fără pardoseală (dB);

$L_{n,1}$ – nivelul zgomotului măsurat la planşeul cu pardoseală (dB).

6.6. Măsuri de atenuare a zgomotelor

6.6.1. Reducerea zgomotelor prin măsuri urbanistice

Zgomotele exterioare pot avea cauze dintre cele mai diverse: circulația vehiculelor şi a pietonilor, funcționarea unor instalații, lucrări de întreținere, reparații sau amenajări etc.

a) Măsuri generale

În această categorie intră măsurile ce pot fi aplicate la scara unei întregi localități.

- Sistematizarea localității prin separarea zonelor de locuit de cele destinate agrementului şi de zonele industriale. În acest context, sunt scoase din perimetrul zonei de locuit industriile poluante sau care necesită un volum mare de materii prime, deci un volum mare de transport.

- Efectuarea periodică şi în condiții de calitate a lucrărilor de întreținere ale drumurilor. Arterele de circulație intensă, în special cele destinate

traficului greu, trebuie poziționate la periferia zonelor de locuit prin prevederea unor rute ocolitoare (şosele de centură).

- Utilizarea unor vehicule de transport în comun silențioase (tramvaie de ultimă generație, troleibuze etc.).

b) Măsuri locale

- Îndepărtarea clădirilor de sursele de zgomot prin retragerea acestora în raport cu arterele de circulație intensă. Dispunerea blocurilor perpendicular pe axul străzii poate diminua nivelul de zgomot.
- Când nu pot fi evitate arterele cu circulație mare, zona de locuințe se protejează cu clădiri–ecran, cu destinații care admit un nivel mai ridicat de zgomot (magazine, clădiri administrative etc.).
- Prevederea unor perdele de protecție, alcătuite din zone plantate dispuse între sursele de zgomot şi zona locuită.
- Utilizarea unor ecrane–barieră de protecție acustică (de exemplu ecrane din beton armat), care creează o aşa numită umbră acustică, în care nivelul zgomotelor este substanțial redus.
- Proiectarea corectă a apartamentelor, din punct de vedere al poluării sonore, prin amplasarea camerelor destinate activităților zilnice pe fațada expusă zgomotelor, iar a celor de odihnă pe fațada opusă.

6.6.2. Reducerea zgomotelor prin izolare acustică

a) Reducerea zgomotelor aeriene

Capacitatea de izolare acustică a elementelor (pereți, planşee) alcătuite dintr-un singur strat depinde de masa elementului şi de frecvența sunetului, crescând proporțional cu logaritmul acestor mărimi. Pentru majoritatea

sunetele obişnuite, cu frecvențe mai mari decât frecvența proprie a elementului (care este foarte mică, de cca. 20...30 Hz), capacitatea de izolare este influențată numai de masă.

La o mărire substanțială a masei elementului, creşterea capacității de izolare acustică nu este prea mare, aceasta variind cu logaritmul masei. Practic, prin dublarea masei (deci şi a costului materialelor), se câştigă un spor de izolare de numai 4...6 dB, sunetele înalte fiind mai bine atenuate decât cele joase, care au o putere de pătrundere mai mare.

O soluție alternativă, mai rațională, constă în folosirea unor pereți alcătuiți din două straturi paralele, fără legături rigide între acestea, ce au posibilitatea de a oscila independent sub acțiunea undelor sonore. Pot fi adoptate următoarele soluții:

- în cazul pereților grei este indicat ca între cele două straturi să nu se dispună nici un material (deoarece se creează o legătură între straturi), sporul de izolare acustică fiind de cca. 6...9 dB, funcție de grosimea stratului de aer (Fig. 6.5.a);

- la pereții cu greutate medie este posibil ca stratul de aer, ce are o frecvență proprie situată în zona sunetelor înalte, să intre în rezonanță. De aceea este indicat să se dispună un strat absorbant, din pâslă. Acest strat trebuie să fie în suspensie (fără legături cu cele două straturi ale peretelui de bază), sau fixat numai pe una dintre suprafețele interioare ale elementului (Fig. 6.5.b);

- pentru pereții despărțitori uşori spațiul dintre straturi trebuie umplut în întregime cu un material absorbant (Fig. 6.5.c).

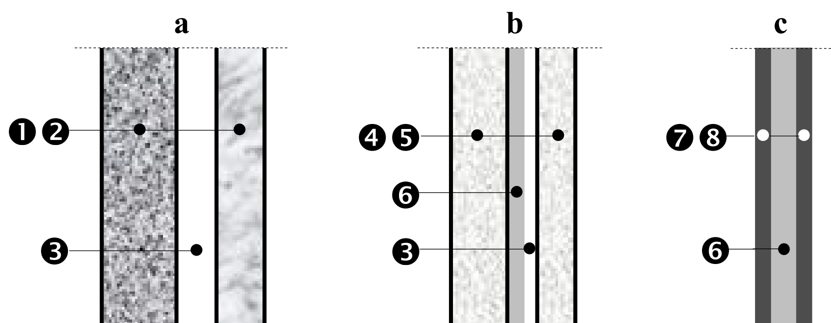


Fig. 6.5. Soluții de izolare fonică la zgomote aeriene
a. perete greu; **b.** perete cu greutate medie; **c.** perete uşor
1.2. materiale grele (beton); **3.** strat aer; **4.5.** materiale medii (zidărie);
6. pâslă minerală; **7.8.** materiale uşoare (din produse lemnoase)

În ceea ce priveşte planşeele, izolarea la zgomotele aeriene este asigurată datorită masei lor mari, de peste 350 Kg/m^2, dacă placa din beton este de minim 13...15 cm grosime. Un grad superior al capacității de izolare se poate obține prin utilizarea tavanelor suspendate false, cu rol fonoabsorbant.

b) Reducerea zgomotelor de impact

Zgomotele de impact se produc prin lovirea directă a elementelor de construcții, în cadrul exploatării normale a clădirilor. Problema atenuării zgomotelor de impact se pune în special pentru complexul pardoseală–planşeu–tavan, la clădirile civile cu mai multe niveluri, unde astfel de zgomote au un caracter frecvent şi condiționează confortul.

Pentru a se obține o calitate corespunzătoare a ansamblului planşeu-pardoseală, din punct de vedere al izolării la zgomot de impact, se recomandă asigurarea masei optime a planşeului, precum şi atenuarea şocurilor cu ajutorul unor straturi absorbante prevăzute între pardoseală şi placă. Pentru evitarea propagării zgomotului prin structură se evită contactul

direct dintre pardoseală şi pereți, prin intermediul unor rosturi. În principiu, sunt posibile următoarele soluții:

- utilizarea unor pardoseli elastice (mochetă, mase plastice) dispuse pe o placă din beton cu grosime minimă de 13...15 cm (Fig. 6.6.a);
- adoptarea unui sistem de pardoseală cu dală flotantă, ce sprijină pe o placă din beton de grosime moderată, de cca. 10 cm (Fig. 6.6.b). Dala flotantă constă dintr-un strat superior de uzură dur (parchet), rezemat pe un suport rigid (din beton slab armat de cca. 4 cm, PFL sau PAL) care sprijină la rândul său pe un strat elastic (din polistiren, pâslă sau pudretă de cauciuc) ce amortizează vibrațiile din impact;
- soluțiile de mai sus pot fi încă îmbunătățite prin prevederea unui tavan fals, suspendat prin legături elastice (Fig. 6.6.c).

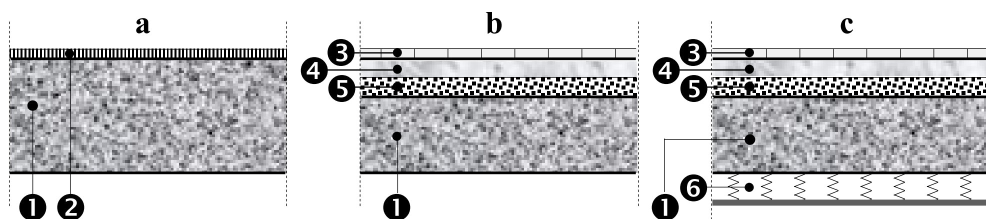


Fig. 6.6. Soluții de izolare fonică la zgomote de impact
a. planşeu masiv; **b.** dală flotantă; **c.** dală flotantă + tavan suspendat
1. placă beton; **2.** strat uzură elastic; **3.** strat uzură dur;
4. suport rigid; **5.** strat elastic; **6.** tavan suspendat

6.6.3. Tratamente acustice absorbante

În timp ce măsurile de izolarea acustică au rolul de a proteja o încăpere împotriva zgomotelor provenite din afara acesteia, tratamentele absorbante sunt destinate atenuării unor sunete parazite emise din interiorul încăperii.

Reflexiile repetate ale sunetelor într-o incintă închisă conduc la o percepție amplificată a acestora, cu efecte adesea neplăcute din punct de vedere al confortului acustic. Pentru evitarea acestui fenomen se recurge la folosirea anumitor materiale şi soluții constructive care determină o majorare a energiei sonore absorbite, în detrimentul celei reflectate. În raport cu mecanismul prin care se realizează disiparea energiei acustice, există mai multe tipuri de tratamente absorbante.

a) Absorbanți poroşi

Transformă energia sonoră în căldură prin frecarea cauzată de vâscozitatea aerului din pori. Coeficientul de absorbție depinde de: porozitatea materialului, grosimea plăcii, distanța față de perete, frecvența sunetului.

Materialele ce pot fi folosite ca absorbanți poroşi sunt: vata minerală, produse din vată minerală (saltele, fâşii, plăci plane pline sau perforate), plută expandată, PFL poros, îmbrăcăminți de catifea şi pluş etc.

Tratamentele subțiri sunt eficiente in domeniul sunetelor înalte, iar cele groase în domeniul sunetelor medii şi joase. Eficiența tratamentului creşte dacă este poziționat la o anumită distanță față de perete. Prelucrarea suplimentară a materialului prin perforare, formare de adâncituri, rugozități etc., conduce la creşterea capacității de absorbție (favorizează pătrunderea undelor în material).

În Fig. 6.7 este prezentată o soluție de tratament fonoabsorbant realizat din plăci de pâslă minerală perforate.

b) Absorbanți cu placă oscilantă

Se bazează pe faptul că un panou aflat în calea undelor acustice vibrează, consumând o parte din energia acustică incidentă. Dacă frecvența undelor

sonore coincide cu cea a sistemului absorbant, se ajunge la fenomenul de rezonanță, absorbția acustică fiind maximă.

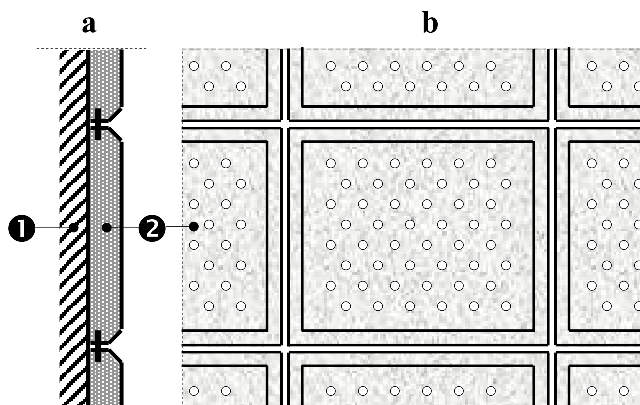


Fig. 6.7. Tratament cu absorbanți poroşi
a. secțiune verticală; **b.** elevație; **1.** perete; **2.** plăci din pâslă

Tratamentele acustice absorbante de acest tip se pot realiza din panouri de placaj, carton, metal, sau din cadre de lemn prevăzute cu o pânză groasă şi un material poros (vată de bumbac).

Absorbanții de tip placă se pot monta cu spațiu liber în spate (Fig. 6.8.a), sau cu pâslă (Fig. 6.8.b). De asemeni, se poate îmbunătăți capacitatea de absorbție prin compartimentarea spațiului din spatele panoului cu rigle şi fâşii de pâslă sau vată (Fig. 6.8.c).

c) Absorbanți cu aer (rezonatori)

Deşi oscilanții cu aer se deosebesc din punct de vedere constructiv de cei descrişi mai sus (pct. b), se bazează pe acelaşi tip de fenomen, numai că ecranul ce intră în vibrație este înlocuit cu un volum de aer.

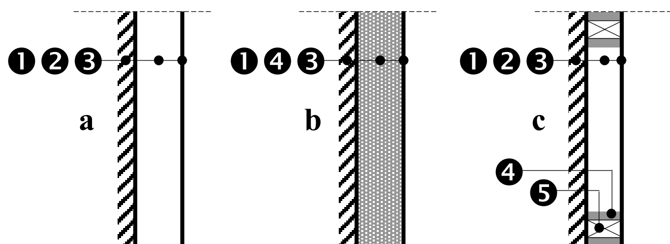


Fig. 6.8. Tratamente cu absorbanți cu placă oscilantă
1. perete; **2.** aer; **3.** placă compactă (placaj); **4.** pâslă afânată; **5.** rigle din lemn

Principial, un astfel de sistem poate fi comparat cu o sticlă culcată, având gâtul liber sau umplut cu un material poros (Fig. 6.9.a). Sub acțiunea sunetului incident aerul din canalul rezonatorului execută mişcări de oscilație alternative, ca un piston şi, datorită inerției şi vâscozității, disipează energia sonoră. La rezonanță viteza aerului din canal devine foarte mare, dar dacă în gât se montează un material de absorbție acustică, prin frecare rezonatorul devine un absorbant sonor foarte eficient.

Cavitățile de rezonanță pot fi separate între ele prin despărțituri din scândură, şi sunt acoperite cu un perete perforat unic din placaj, peste orificii pozându-se o pânză (Fig. 6.9.b).

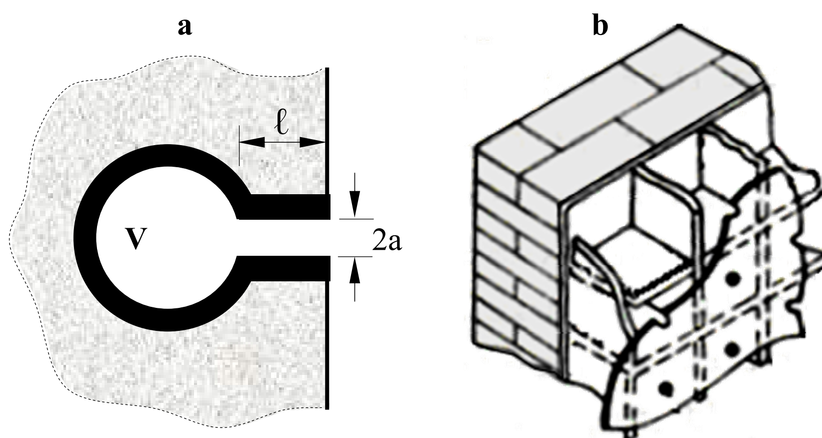


Fig. 6.9. Tratamente cu absorbanți cu aer
a. rezonator Helmholtz; **b.** absorbant acustic cu aer la un perete din zidărie

6.7. Elemente de acustica sălilor

Sălile de spectacole şi de conferințe (Fig. 6.10), în special cele de dimensiuni mari, ridică probleme complexe privind asigurarea unei bune audiții. Principial, rezolvarea acestor probleme se poate face prin: reducerea nivelului de zgomot prin absorbție, reducerea fenomenului de reflexie repetată a zgomotelor, dirijarea convenabilă a sunetelor utile printr-o formă geometrică corespunzătoare a sălii şi a elementelor limitatoare etc.

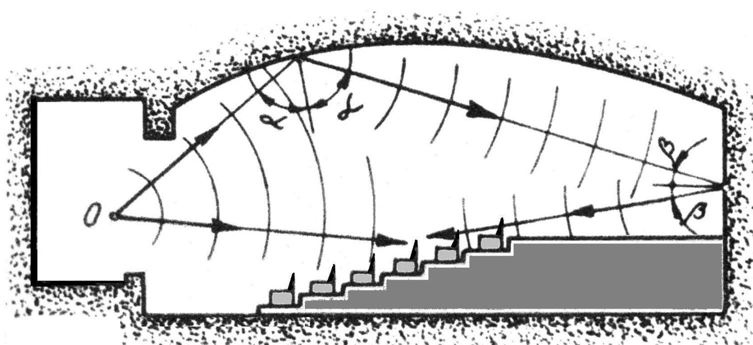


Fig. 6.10. Secțiune verticală printr-o sală. Propagarea sunetelor

6.7.1. Acustica geometrică

Condițiile de audibilitate ale unui ascultător care recepționează unde directe şi unde reflectate (Fig. 6.10), variază în raport cu modul în care acesta recepționează cele două categorii de unde. Dacă acestea sunt decalate în timp cu mai mult de 0,05 s (diferența de drum a celor două tipuri de sunete este mai mare de cca. 17 m), ascultătorul le percepe în mod distinct, sub formă de ecou, ceea ce influențează în mod nefavorabil audiția.

Un fenomen asemănător se întâlneşte la sălile cu două laturi paralele apropiate, când datorită reflexiilor multiple a undelor sonore în raport cu cele două suprafețe reflectante apare aşa numitul ecou de fluturare.

Uneori, datorită geometriei suprafețelor delimitatoare, există tendința de concentrare a undelor sonore reflectate în anumite puncte numite focare, ceea ce micşorează calitățile acustice ale încăperii.

Întărirea sunetului direct prin sunete reflectate care să ajungă la ascultător în timp util, precum şi evitarea ecourilor, a ecourilor de fluturare şi a focarelor acustice se pot realiza printr-o dirijare judicioasă a undelor reflectate. Acest lucru implică efectuarea unui studiu asupra geometriei încăperii, în special asupra formei şi dimensiunilor acesteia.

Astfel, folosind noțiunea de rază acustică, au fost puse bazele acusticii geometrice, analogă cu optica geometrică. Acest studiu se face în toate secțiunile caracteristice, mersul razelor acustice directe şi reflectate fiind simulat atât în plan orizontal cât şi vertical (Fig. 6.11).

Din analiza modului de distribuție al undelor acustice în secțiunile alese, rezultă forma geometrică ce trebuie adoptată pentru elementele principale ale sălii (tavan, pereți laterali, pardoseli), precum şi modul de distribuție a suprafețelor reflectante şi absorbante, pentru asigurarea unui câmp sonor cât mai uniform şi pentru evitarea fenomenelor nedorite descrise mai sus.

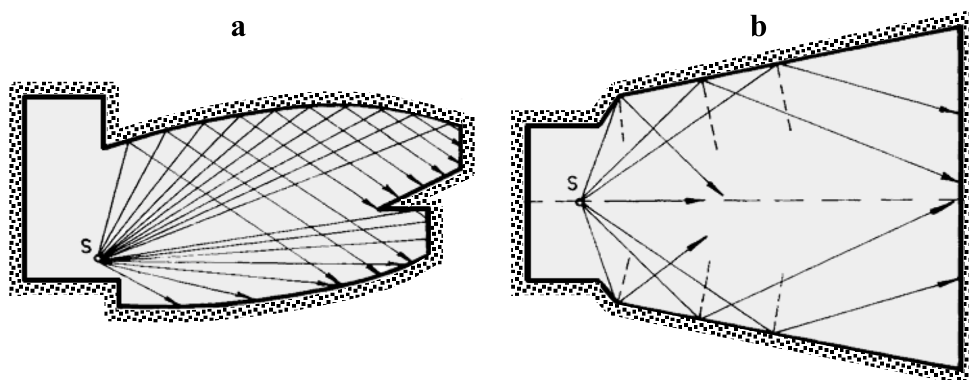


Fig. 6.11. Distribuția razelor acustice într-o sală de spectacole
a – secțiune verticală; b – secțiune orizontală

6.7.2. Absorbția acustică

Capacitatea de absorbție a materialelor depinde de frecvența sunetului incident. Unele materiale de construcție (vata minerală, pâsla, tencuiala poroasă, ceramica poroasă etc.) absorb bine sunetele înalte (cu frecvență ridicată), pe când alte materiale prezintă capacitate ridicată de absorbție în domeniul frecvențelor joase.

Natura suprafețelor elementelor influențează în mare măsură capacitatea de absorbție a energiei sonore. Astfel, elementele cu suprafețe netede reflectă aproape integral sunetele, având deci absorbția sonoră foarte redusă.

Pentru o sală având suprafețele limitrofe S_i, tratate cu diferite materiale cu coeficient de absorbție α_i, capacitatea de absorbție se poate aprecia cu relația (6.13).

Mobilierul şi alte obiecte aflate în sală, precum şi persoanele, absorb de asemenea o parte din energia sonoră, fiind caracterizate prin diferite valori ale capacității de absorbție a_j, astfel că absorbția acustică totală a unei săli ocupate rezultă:

$$A = \sum_i \alpha_i . S_i + \sum_j a_j \qquad (6.22)$$

Absorbția acustică a materialelor şi a obiectelor se determină pe cale experimentală, cu ajutorul tubului acustic sau în camere reverberante.

6.7.3. Reverberația

Caracterizarea reverberației unei săli se face prin durata sa de reverberație, noțiune ce a fost definită la pct. 6.4.2.

Durata de reverberație a unei încăperi se poate determina experimental prin măsurători, sau prin calcul cu ajutorul relației lui Sabine, funcție de volumul încăperii V şi de absorbția totală A:

$$T = 0{,}163\frac{V}{A} \qquad (6.23)$$

Pentru asigurarea unei audiții corespunzătoare în săli este necesar ca durata de reverberație să prezinte o valoare optimă, care depinde de destinația sălii (conferințe, spectacole de teatru, concerte etc.), fiind cuprinsă între 0,5 şi 4 secunde. Dacă durata de reverberație efectivă este mai mare decât durata optimă, sala devine răsunătoare, sunetele se aud prelungit şi datorită suprapunerilor repetate sunt neclare. În situația inversă sunetele se aud seci, înfundate şi slabe.

Efectele supărătoare datorate reverberației se pot evita alegând o formă adecvată a sălii (pereți neparaleli, tavan şi pardoseală curbe etc.), iar reducerea nivelului de zgomot se poate asigura prin absorbție acustică, pe baza tratamentelor acustice absorbante.

6.7.4. Elemente de proiectare acustică a sălilor

Alegerea formei şi dimensiunilor unei săli, precum şi aplicarea unor tratamente acustice pe suprafețele delimitatoare trebuie să asigure condițiile unei bune audiții, în raport cu destinația sălii.

Proiectarea acustică a unei săli de audiție publică cuprinde mai multe etape:

a. determinarea caracteristicilor generale, geometrice şi acustice, ale sălii;
b. stabilirea formei sălii (inclusiv scena);
c. alegerea tratamentelor acustice şi distribuția lor;

d. dimensionarea elementelor delimitatoare în scopul asigurării protecției împotriva zgomotelor perturbatoare interioare sau exterioare.

Procesul de proiectare a unei săli este complex şi cu atât mai laborios cu cât dimensiunile sălii sunt mai mari şi forma mai complicată, fiind necesare atât etape de calcul cât şi simulări pe calculator, determinări experimentale etc. În cadrul acestui proces trebuie ținut cont de următoarele principii constructive:

- pentru eliminarea ecoului se impune, în majoritatea cazurilor, tratarea absorbantă a peretelui ce delimitează spatele sălii şi a porțiunilor de tavan orientate spre acesta;
- eliminarea paralelismului între suprafețe prin adoptarea unor săli cu formă trapezoidală în plan, prin înclinarea pereților laterali cu unghiuri ce variază între 5...15^{o} sau prin şicanarea acestora;
- suprafețele din fața scenei se tratează de regulă reflectant, pentru a dirija energia acustică spre mijlocul sălii, în special la sălile în care nu există o amplificare a sunetului prin mijloace electroacustice. O atenție deosebită trebuie acordată sălilor cu secțiune dreptunghiulară de lățime mare ($\geq$ 20 m) la care, pentru evitarea ecoului în primele rânduri, se impune tratarea absorbantă a pereților laterali în apropierea scenei;
- panta pardoselii sălii rezultă în mod curent din construirea curbei optime de vizibilitate şi de recepționare directă a undelor sonore, curbă formată dintr-un palier orizontal şi o spirală logaritmică;
- tavanul poate avea un profil continuu cu o anumită curbură, sau o formă frântă, funcție de cerințele sălii. Acest ultim aspect este legat de asigurarea suprafețelor necesare absorbției şi reflexiei sunetelor, de

realizarea unei înălțimi medii în raport cu volumul sălii, de mascarea instalației de iluminat, de amplasarea unor cabine de proiecție, precum şi de considerente estetice;

- pentru înlăturarea focalizărilor acustice se vor evita suprafețele concave, atenția îndreptându-se spre cele plane şi mai ales spre cele convexe. Ultimele constituie elemente difuzante de sunet, astfel încât câmpul sonor din interiorul sălii câştigă în uniformitate. La sălile mai vechi, bogat ornamentate, elementele difuzante se realizau sub formă de statuete sau diverse ornamentații, în timp ce la sălile moderne elementele difuzante se realizează sub formă de semisfere, semicilindri sau segmente de prismă.

Minidicționar tehnic de construcții

A

abatere admisibilă — diferența dintre dimensiunea limită (limita superioară sau inferioară admisă a dimensiunii efective a unui element de construcție) şi dimensiunea efectivă de construcție

acoperiş terasă — acoperiş plat, fără pod, cu pante de scurgere ale apelor meteorice sub 7%, întâlnit frecvent la blocurile de locuințe

accelerația terenului pentru proiectare — valoarea maximă (de vârf) a accelerației orizontale a terenului, corespunzătoare unui interval mediu de recurență al magnitudinii seismice IMR = 100 ani

accelerogramă — reprezentarea grafică a variației valorilor accelerației terenului în timp pentru un anumit cutremur, pe o anumită direcție

acțiuni în construcții — orice cauze susceptibile de a determina solicitări mecanice ale elementelor de construcții

acțiuni cvasipermanente (aproape permanente) — acțiunile ce se manifestă cu intensități mari timp îndelungat sau foarte frecvent (exemple: greutatea pereților despărțitori neportanți, presiunea lichidelor sau gazelor din rezervoare, greutatea prafului industrial)

acțiuni dinamice acțiunile care variază rapid ca intensitate, direcție sau punct de aplicare, determinând oscilații ale structurii (perioada de variație a încărcării este mai mică decât perioada proprie de oscilație a structurii)

acțiuni excepționale (accidentale) acțiunile ce apar foarte rar, eventual niciodată în perioada de exploatare a unei construcții, dar cu intensități deosebit de mari (forța seismică, forțele rezultate din inundații puternice sau explozii etc.)

acțiuni permanente acțiuni a căror valoare rămâne practic neschimbată pe toată durata de exploatare a construcției (exemplu: greutatea proprie a elementelor de construcții cu poziție fixă)

acțiuni statice acțiunile care variază lent în timp, astfel că nu determină oscilații ale structurii (perioada de variație a încărcării este mai mare decât perioada proprie de oscilație a structurii)

acțiuni variabile acțiunile ce se manifestă cu intensități semnificative la intervale mari sau care pot varia rapid în timp (încărcarea din zăpadă, vânt etc.)

amortizare disiparea energiei unui sistem oscilant ca urmare a prezenței unor forțe rezistente (de frecare internă); dacă un sistem nu ar avea o amortizare, ar continua să oscileze la infinit (după încetarea acțiunii forțelor exterioare)

amortizare critică valoarea amortizării vâscoase pentru care sistemul revine la poziția inițială fără a se produce oscilații (mişcarea îşi pierde caracterul oscilant)

amortizare vâscoasă un sistem oscilant are amortizare vâscoasă când disiparea energiei rezultă din forțe rezistente proporționale cu viteza (ipoteza lui Voigt)

anvelopă totalitatea elementelor unei clădirii care separă interiorul acesteia (volumul încălzit) de exterior şi de spații adiacente neîncălzite

asiză	un şir orizontal de blocuri din zidărie împreună cu rostul orizontal aferent
astereală	element format din scânduri dispuse paralel cu streaşina acoperişului, fixate cu cuie pe căpriori; serveşte drept suport pentru învelitorile neportante (din tablă plană, carton asfaltat etc.)

B

balustradă (la scări)	elementul vertical de protecție prevăzut spre partea liberă a rampei sau podestului, având la partea superioară un element necesar sprijinirii în timpul circulației, numit mână curentă
B.C.A.	beton celular autoclavizat
beton monolit	betonul turnat pe şantier, la locul de punere în operă al elementului
beton prefabricat	betonul turnat în fabrici de prefabricate sau pe piste special amenajate; după întărire, elementul din beton este transportat şi montat pe şantier în cadrul construcției
blocuri mari	elemente cu dimensiuni mari, reprezentând porțiuni de pereți, confecționate în prealabil (industrial); se folosesc curent blocuri mari din b.c.a. sub forma unor fâşii cu înălțimea egală cu un etaj şi lățimea de cca. 60 cm
blocuri mici pentru zidărie	blocuri cu mărimea echivalentă cu una sau mai multe cărămizi, iar greutatea până la capacitatea de manipulare a unui om
buiandrug	element de rezistență prevăzut la partea superioară a golurilor din pereți (pentru uşi sau ferestre), cu rol de preluare a încărcărilor transmise de zidăria de deasupra; pot fi din lemn, zidărie, beton, metal etc.

C

cadru	ansamblu format din stâlpi şi grinzi, ce lucrează ca un tot unitar; poate fi plan sau spațial, cu una sau mai multe deschideri şi cu unul sau mai multe niveluri; cel mai simplu cadru este compus din doi stâlpi şi o grindă
căprior	element din lemn ecarisat sau rotund, care se aşează după linia de cea mai mare pantă a acoperişului, la distanțe de 60...100 cm, fixându-se de pane
căldură specifică	cantitatea de căldură necesară pentru ridicarea temperaturii unui Kg de material cu 1 K (sau 1ºC)
câmp termic	totalitatea valorilor temperaturii ce caracterizează un anumit spațiu (domeniu, element)
câmp termic constant (staționar sau permanent)	câmpul termic la care temperatura în orice punct este constantă în timp
câmp termic variabil (nestaționar sau tranzitoriu)	câmpul termic la care temperatura în cel puțin un punct este variabilă în timp
câmp termic unidirecțional	câmpul termic la care propagarea căldurii are loc în mod preponderent pe o singură direcție
câmp termic bidirecțional (plan)	câmpul termic la care propagarea căldurii are loc în mod preponderent pe două direcții
câmp termic tridirecțional (spațial)	câmpul termic la care propagarea căldurii are loc pe toate cele trei direcții în spațiu
centură	element din beton armat, cu secțiune dreptunghiulară, prevăzut în pereți la nivelul planşeelor din beton sau fundațiilor, având funcția de a asigura conlucrarea spațială a elementelor de rezistență (pereți portanți şi planşee)

cheson (de acoperiş) — element plan alcătuit dintr-o placă subţire de beton, de 3...5 cm, rigidizată cu nervuri longitudinale si transversale

clasă de precizie — ansamblu de valori ale toleranţei, corespunzătoare aceluiaşi grad de precizie

clădire — construcţie cu funcţia principală de a servi ca adăpost pentru oameni în timpul perioadelor de muncă, destindere sau odihnă şi pentru bunurile acestora, precum şi pentru procesele tehnologice

clădire agricolă — clădire destinată producţiei agricole (hambare, mori, grajduri, abatoare, crame etc.)

clădire civilă — clădire ce nu serveşte producţiei (clădiri de locuit, clădiri social-culturale, clădiri administrative etc.)

clădire industrială — clădire destinată producţiei industriale (hale industriale, ateliere, centrale energetice, depozite etc.)

coamă — linia înclinată situată la intersecţiile în unghi ieşind ale versanţilor (pantelor) acoperişului

coeficient de absorbţie acustică — raportul dintre energia acustică absorbită de un material şi cea incidentă

coeficient aerodinamic al vântului — are semnificaţia unui raport între presiune normală a vântului într-un punct pe suprafaţa clădirii şi presiunea de referinţă într-un punct aflat la distanţă de clădire, într-o zonă în care curenţii de aer nu sunt perturbaţi de construcţie; depinde de geometria şi dimensiunile clădirii, de unghiul de atac al vântului, de rugozitatea terenului etc.

coeficient de amortizare termică — mărime ce reflectă capacitatea unui element de a atenua variaţiile de temperatură ale aerului exterior, egală cu raportul dintre amplitudinea variaţiei temperaturii aerului exterior şi amplitudinea variaţiei temperaturii suprafeţei interioare a elementului

coeficient de asimilare termică	raportul între amplitudinea fluxului termic unitar şi amplitudinea temperaturii într-un element, în ipoteza că ambele au o variaţie de tip sinusoidal în timp; depinde de coeficientul de conductivitate termică, căldura specifică şi densitatea materialului
coeficient de conductivitate termică	mărime numeric egală cu cantitatea de căldură ce trece printr-un element cu suprafaţa de 1 m^2, grosimea de 1 m, timp de o oră şi pentru o diferenţă de temperatură dintre cele doua suprafeţe de 1 K (sau 1ºC)
coeficientul construcţii-diţiilor de expu-nere (pentru încăr-carea din zăpadă)	coeficient prin care se ţine cont de gradul de expunere al clădirii la vânt, funcţie de prezenţa unor obstacole din vecinătatea construcţiei (alte clădiri, plantaţii etc.), ceea ce influenţează mărimea încărcării din zăpadă
coeficient de defazare termică	reflectă capacitatea elementelor de construcţii de a întârzia oscilaţiile temperaturii aerului exterior
coeficient de difuzivitate termică	mărime ce caracterizează transferul termic în regim variabil, egală cu raportul dintre coeficientul de conductivitate termică şi produsul dintre căldura specifică şi densitatea materialului
coeficient de for-mă (aglomerare) (pentru încărcarea din zăpadă)	coeficient funcţie de forma acoperişului clădirii (mărimea pantei, prezenţa unor denivelări, prezenţa unor obstacole etc.), ce ia în considerare posibilitatea aglomerării zăpezii în anumite zone ale acoperişului
coeficient global de izolare termică	reprezintă suma pierderilor de căldură realizate prin transmisie directă prin suprafaţa anvelopei clădirii, pentru o diferenţă de temperatură între interior şi exterior de 1 K (sau 1ºC), raportată la volumul clădirii, la care se adaugă pierderile de căldură aferente reîmprospătării aerului interior, precum şi cele datorate infiltraţiilor suplimentare de aer rece
coeficient de grupare (factor de simultaneitate)	coeficienţi utilizaţi în cadrul grupărilor de încărcări pentru considerarea probabilităţii reduse de apariţie simultană a mai multor acţiuni la intensităţi maxime

coeficient al încărcării (coeficient parțial de siguranță)	coeficient în general supraunitar, prin care se face trecerea de la încărcările normate la cele de calcul, având semnificația unui coeficient de siguranță; în prezent este folosită denumirea de „coeficient (factor) parțial de siguranță”
coeficient de siguranță pentru materiale	coeficient prin care se ține seama de abaterile posibile, în sens defavorabil, a rezistențelor materialelor față de valorile normate, datorită variațiilor statistice ale calității materialelor şi ale caracteristicilor geometrice ale elementelor de construcții (denumit şi „coeficient parțial de siguranță pentru materiale”);
coeficient liniar de transfer termic	reprezintă surplusul de flux termic datorat unei punți termice liniare, raportat la lungimea acesteia şi la căderea totală de temperatură (diferența dintre temperaturile aerului interior şi exterior); altfel spus, reprezintă fluxul termic suplimentar cauzat de o punte liniară cu lungimea de 1 m, pentru o cădere de temperatură de 1 K (sau 1ºC)
coeficient punctual de transfer termic	reprezintă fluxul termic suplimentar cauzat de o punte termică punctuală, pentru o cădere de temperatură de 1 K (sau 1ºC)
coeficient termic (pentru încărcarea din zăpadă)	coeficient de reducere a încărcării zăpezii în cazuri speciale, când capacitatea de izolare a acoperişului este limitată şi căldura cedată duce la topirea zăpezii
coeficient de transfer termic de suprafață (superficial), prin convecție	mărimea numeric egală cu cantitatea de căldură primită sau cedată de un corp (element) prin convecție, într-o oră, printr-un m^2 din suprafața sa exterioară, când diferența de temperatură dintre suprafață şi fluidul înconjurător este de 1 K (sau 1ºC)
coeficient de transfer termic de suprafață (superficial), prin radiație	mărimea numeric egală cu cantitatea de căldură radiată de 1 m^2 din suprafața unui corp, într-o oră, la o temperatură a suprafeței radiante de 100 K

coeficient de transfer termic de suprafață (superficial)	mărimea numeric egală cu cantitatea totală de căldură (convecție + radiație) primită sau cedată de un corp (element) într-o oră, printr-un m^2 din suprafața sa exterioară, când diferența de temperatură dintre suprafață şi fluidul înconjurător este de 1 K (sau 1ºC)
coeficient de permeabilitate la vapori (de apă)	cantitatea de vapori de apă (în grame) care trece printr-o suprafață de 1 m^2 a unui material cu grosimea de 1 m, timp de o oră, când există o diferență de presiune parțială a vaporilor de 1 Pa (sau 1 torr)
componentă de rafală a vântului	partea fluctuantă a vitezei vântului, la un anumit momentul şi la o anumită înălțime; se foloseşte şi denumirea de „viteză de rafală”
condiții de unicitate (condiții la limită)	condiții care definesc dimensiunile elementului (domeniului) analizat, precum şi legăturile sale cu mediul ambiant, din punct de vedere termic, higric etc.
conducție termică	transmisia căldurii dintr-o regiune cu temperatură mai ridicată către o regiune cu temperatură mai scăzută, în interiorul unui mediu solid, lichid sau gazos sau între medii diferite în contact fizic direct, prin vibrația termică a rețelei cristaline şi/sau prin intermediul electronilor liberi
conformare antiseismică	ansamblu de măsuri constructive ce asigură comportarea favorabilă a clădirilor în raport cu acțiunea seismică
consolă	**a.** element liniar fixat (încastrat) la una din extremități şi liber la cealaltă (exemplu: grinzile de susținere ale unei copertine); **b.** element plan fixat pe una din laturi şi liber pe celelalte (exemplu: plăcile balcoanelor)
contrafişă (la şarpante)	element înclinat care, împreună cu cleştii, contribuie la asigurarea stabilității spațiale a şarpantei acoperişului
contratreaptă	element vertical între două trepte succesive, realizat ca o nervură

convecție termică	procesul de transfer al căldurii prin acțiunea combinată a conducției termice, a acumulării de energie şi a mişcării moleculelor unui fluid
convecție liberă (naturală)	proces de transfer termic convectiv la care mişcarea de amestec a fluidului este rezultatul diferențelor de densitate produse de gradienții (variațiile) de temperatură
convecție forțată	proces de transfer termic convectiv la care mişcarea de amestec a fluidului este rezultatul unor cauze externe (de exemplu un ventilator), care produc diferențe de presiune
coordonare dimensională	convenția de a utiliza în cadrul activităților de proiectare, de producere şi de punere în operă, numai acele dimensiuni geometrice care respectă anumite reguli stabilite anterior
coordonare modulară	un set de reguli (convenții) prin care dimensiunile elementelor de construcții pot lua numai acele valori care corespund unei lungimi alese arbitrar, numită modul de bază, sau unor moduli derivați din modulul de bază
cornişă	îngroşare a pereților exteriori, în plan orizontal, în dreptul planşeelor curente, cu rol de protecție împotriva intemperiilor şi de ornamentare
cosoroabă	pana de la nivelul streşinii
cota ±0.00 (a unei clădiri)	este reprezentată, în mod convențional, de cota pardoselii finite de la parterul clădirii
creastă	intersecția orizontală a pantelor acoperişului, situată la partea superioară a acestuia
criterii de performanță	traducerea exigențelor de performanță în calități pe care trebuie să le îndeplinească diferențiat părțile componente ale clădirii pentru ca exigențele de performanță să fie satisfăcute

D

densitatea fluxului termic (fluxul termic unitar) cantitatea de căldură care străbate unitatea de suprafață în unitatea de timp

deschidere distanța interax dintre două elementele de rezistență verticale succesive, pe direcția transversală a unei clădiri (exemplu: distanța interax dintre stâlpii unei hale industriale, pe direcție transversală)

dimensiune modulară dimensiune egală cu multiplu întreg al unui modul

dimensiune nominală dimensiune modulară ce caracterizează un element prin dimensiunea sa principală, permițând identificarea lui dintr-o serie de elemente asemănătoare

dimensiune modulată dimensiunea unui element de construcție care se asamblează cu alte elemente, astfel încât prin alăturarea acestora, ținând seama şi de rosturi, să rezulte o dimensiune modulară

dimensiuni de proiect dimensiunile teoretice ale conturului unui element, adică dimensiunile rezultate din calculele de rezistență şi din condiții de rezemare sau de asamblare

dimensiuni reale dimensiunile efective de contur ale unui element de construcție

discretizare a unui domeniu operație în cadrul metodelor numerice, ce constă Fig. „fragmentarea" (divizarea, descompunerea) sub o anumită formă a domeniului modelat şi determinarea mărimilor caracteristice în nodurile şi/sau elementele rețelei de discretizare

dolie linie înclinată situată la intersecțiile în unghi intrând ale versanților (pantelor) acoperişului

durată de reverberație intervalul de timpul în care nivelul acustic într-o încăpere scade cu 60 dB după încetarea sursei sonore

E

efecte ale acțiunilor	eforturile secționale sau eforturile unitare (tensiunile) din elementele structurale, precum şi deplasările sau rotațiile pentru elementele structurale şi structura în ansamblu
elemente de compartimentare	elemente ce servesc împărțirii spațiilor interioare ale unei clădiri: pereți interiori, uşi interioare etc.
elemente de închidere	elementele ce asigură izolarea termică, hidrofugă şi acustică a interiorului clădirii: pereți exteriori, ferestre, uşi exterioare, învelitorile acoperişului etc.
epicentru	proiecția geometrică a hipocentrului pe suprafața scoarței terestre
exigențe în construcții	condițiilor pe care trebuie să le satisfacă construcțiile, ținând seama de funcțiile ce decurg din destinația clădirii şi de interesele colectivității care o utilizează
exigențe de performanță	sunt formulate de specialişti pentru a satisface exigențele utilizatorilor, luând în considerare factorii care acționează asupra imobilului
exigențele utiliza-torilor clădirilor	condițiile pe care utilizatorii unei clădiri le doresc îndeplinite în imobilele pe care le vor folosi

F

factor de amplifi-care dinamică	sinonim cu „spectru normalizat de răspuns elastic al accelerației terenului”
factor de comportare	factor ce ia în considerare comportarea inelastică a structurii, în funcție de materialele folosite (beton, metal, lemn, zidărie etc.) şi de capacitatea structurii de disipare a energiei, atunci când aceasta depăşeşte limita de comportare elastică, lucrând parțial în domeniul plastic

factor de expunere al vântului coeficient ce cuantifică influența rafalelor vântului, a rugozității terenului şi a înălțimii la care se calculează presiunea vântului

factor de importanță-expunere al construcției coeficient folosit în calculul încărcării seismice prin metoda forțelor seismice statice echivalente; este o mărime convențională care depinde de clasa de importanță a clădirii, apreciată în funcție de: consecințele prăbuşirii asupra vieților omeneşti, utilitatea construcției pentru siguranța publică şi protecția civilă în perioada imediată după cutremur, consecințele sociale şi economice ale prăbuşirii sau avarierii grave

factor parțial de siguranță sinonim cu „coeficientul încărcării"

factorul rezistenței la permeabilitate la vapori mărime adimensională care indică de câte ori este mai mare rezistența la permeabilitate la vapori a unui material în raport cu rezistența la permeabilitate la vapori a aerului

factor de rafală a vântului raportul între presiunea de vârf produsă de rafalele vântului şi presiunea medie, produsă de viteza medie a vântului

factor de rugozitate al vântului raportul dintre presiunea medie a vântului la o anumită înălțime şi presiunea de referință

factor de simultaneitate sinonim cu „coeficient de grupare"

flux (termic, acustic etc.) cantitatea de energie (calorică, acustică etc.) ce străbate o suprafață în unitatea de timp

formă de oscilație configurația geometrică a mişcării unui sistem oscilant care vibrează liber cu o anumită frecvență proprie; fiecare punct material al sistemului execută o mişcare armonică simplă

fracțiune de amortizare critică raportul dintre coeficientul de amortizare efectiv şi coeficientul de amortizare critică, corespunzătoare unui sistem oscilant cu amortizare vâscoasă

frecvență numărul de oscilații complete (sau cicli) pe durata unei secunde

frecvență fundamentală frecvența cu valoarea cea mai joasă a unui sistem oscilant cu mai multe grade de libertate

fundație element al structurii de rezistență a clădirii prin intermediul căruia se realizează încastrarea construcției în terenul de fundare şi transmiterea la pământ a tuturor eforturilor rezultate din ansamblul acțiunilor mecanice exterioare

fundație continuă fundația ce susține pereții portanți ai clădirii, rezemată pe teren pe toată lungimea sa

fundație izolată fundație cu formă pătrată sau dreptunghiulară în plan, situată sub fiecare stâlp al unei clădiri

fundație pe rețele de grinzi fundație alcătuită din grinzi dispuse după cele doua direcții principale ale clădirii (longitudinală şi transversală)

fundație pe radier general fundația constituită dintr-o placă groasă din beton, dezvoltată sub întreaga suprafață a clădirii

G

glaf element liniar prevăzut pe latura orizontală inferioară a ferestrei, spre interior, cu rol de protecție şi decorativ; se execută din lemn, mozaic turnat, marmură, beton

gradient de temperatură este o măsură a variației temperaturii pe o anumită direcție din spațiul (domeniul) analizat; din punct de vedere matematic reprezintă limita raportului între diferența de temperatură ΔT şi distanța Δx dintre două puncte, când $\Delta x \rightarrow 0$

greutate tehnică greutatea materialului în starea de îndesare şi cu umiditatea de echilibru pe care acesta le are după ce a fost pus în operă; dacă este vorba despre un material neomogen, greutate tehnică are semnificația unei medii ponderate a greutăților specifice ale materialelor componente

grindă element de rezistență orizontal sau uneori înclinat, solicitat în mod preponderent la încovoiere, rezemat la extremități pe stâlpi, pereți portanți, fundații etc., care preia sarcinile transmise de alte elemente, pe care le susține (pereți neportanți, planşee etc.); grinzile cadrelor se mai numesc şi rigle

grindă cu inimă plină grindă din lemn, beton, metal cu secțiunea dreptunghiulară, T, I etc.

grindă cu zăbrele grindă formată dintr-un ansamblu de bare articulate la extremități; elementele inferioare şi superioare poartă numele de tălpi, elementele verticale se numesc montanți, iar cele înclinate se numesc diagonale; barele pot fi realizate din lemn, beton sau metal şi sunt dispuse sub formă de triunghiuri (structură nedeformabilă)

grindă de podest element liniar orizontal amplasat în secțiunea de frângere dintre rampa scării şi podest, cu rol de susținere

grindă de vang element liniar sau curb, dispus înclinat, central sau marginal sub rampa scării şi paralel cu aceasta, cu rol de susținere

grupare de încărcări un set de încărcări a căror acțiune se poate produce simultan cu o mare probabilitate şi, în consecință, sunt considerate împreună în calculele de proiectare

H

higrotermica construcțiilor	ramură a fizicii construcțiilor în cadrul căreia sunt studiate acele fenomene şi caracteristici ale clădirilor ce au în vedere satisfacerea cerințelor de viață ale oamenilor şi în special protecția contra agenților climatici: variații de temperatură, vânt, ploaie, zăpadă
hipocentru (focar)	punct de origine al undelor seismice, aflat în interiorul scoarței pământului la o anumită adâncime, în zona de lunecare a plăcilor tectonice

I

indice de inerție termică	mărime prin care se apreciază capacitatea de acumulare şi cedare a căldurii de către un element, egal cu produsul dintre rezistența termică şi coeficientul de asimilare termică
industrializarea construcțiilor	procesul prin care o parte dintre elementele componente ale unei construcții sunt produse în condiții industriale, în cadrul unor întreprinderi specializate, urmând ca apoi să fie transportate şi montate la locul de punere în operă
infrastructură	totalitatea elementelor situate sub cota ±0.00 a clădirii: fundații, pereți de subsol, planşeul peste subsol etc.
intensitate acustică	fluxul de energie sonoră ce cade pe unitatea de suprafață
intensitate acustică de referință	reprezintă pragul inferior al intensității auditive ce poate fi percepută de om, la frecvența de 1000 Hz

intensitate de calcul a încărcărilor valoare având o anumită probabilitate de manifestare, ce se determină prin înmulțirea valorii intensității normate a încărcării cu un coeficient numit coeficientul încărcării, prin care se ține seama de abaterile posibile, în sens defavorabil pentru structură, ale intensității în raport cu valorile normate

intensitate normată a încărcărilor valoare de referință, aleasă convențional, ținând seama de variabilitatea statistică specifică a acțiunii respective (în prezent este adoptată denumirea de „valoare caracteristică”)

interval mediu de recurență numărul mediu de ani în care valoarea unui anumit parametru poate fi atinsă o singură dată; parametrul caracteristic poate fi: încărcarea maximă din zăpadă, viteza maximă a vântului, magnitudinea unui seism etc.

Î

înălțimea sunetului caracteristică funcție de frecvența oscilațiilor sonore (frecvențele mici conduc la sunete joase, cele mari la sunete înalte)

încărcări utile încărcările reprezentate de greutatea oamenilor, mobilierului, aparatelor, instalațiilor etc.

învelitoare element de construcție prevăzut la partea superioară a acoperişului, având ca funcție principală izolarea hidrofugă, în unele cazuri şi izolarea termică, precum şi iluminarea naturală a spațiului acoperit

L

linie izotermă locul geometric al punctelor de egală temperatură, dintr-un câmp termic plan

lucarnă	gol prevăzut cu fereastră, practicat în învelitoarea acoperişurilor cu pod, cu rol de iluminare naturală şi cu funcții ornamentale
lucrări inginereşti	toate construcțiile, cu excepția celor ce intră în categoria clădirilor: drumuri, căi ferate, tuneluri, poduri, rezervoare, castele de apă, coşuri de fum, canale, construcții hidrotehnice etc.

M

metode (tehnici) numerice	metode aproximative de rezolvare a unei ecuații diferențiale de ordin superior, sau a unui sistem de ecuații diferențiale ce caracterizează un anumit fenomen, prin transformarea acestora într-un sistem liniar de ecuații algebrice
mod de vibrație	ansamblul format dintr-o formă de oscilație şi perioada proprie (sau frecvența proprie) de vibrație
mod fundamental de vibrație	modul de vibrație căruia îi corespunde frecvența cea mai joasă, numită frecvență fundamentală (modul fundamental este primul mod de vibrație)
modul	valoare aleasă arbitrar pentru realizarea coordonării dimensionale în construcții; în țara noastră, ca şi în multe alte țări, modulul de bază este M = 100 mm

N

nervură	rigidizare la elemente de grosime redusă, ce constă într-o îngroşare având de regulă secțiune dreptunghiulară
nivelul intensității auditive	reprezintă corespondentul auditiv al nivelului de intensitate sonoră, fiind egal cu de 10 ori logaritmul zecimal al raportului dintre intensitatea auditivă şi intensitatea auditivă de referință

nivelul intensității sonore	logaritmul zecimal al raportului dintre intensitatea acustică a sunetului şi intensitatea acustică de referință, exprimat în beli (logaritmul se multiplică cu 10 în cazul exprimării în decibeli)
niveluri de performanță	reprezintă concretizarea cantitativă, numerică, a criteriilor de performanță, astfel încât acestea să poată fi utilizate în proiectare, cu ajutorul diferitelor relații fizico–matematice de dimensionare

P

PAL	plăci aglomerate lemnoase
pană (la şarpanta acoperişului)	element orizontal executat din lemn ecarisat, paralel cu creasta acoperişului, poziționat la distanțe de 3...4 m; pana de la cota cea mai înaltă se numeşte pană de creastă, iar panele de la nivelul streşinii se numesc cosoroabe
panouri mari (prefabricate)	elemente de dimensiunea unei încăperi, ce se montează prin îmbinare; se utilizează pentru pereți şi planşee şi sunt confecționate din beton armat, cu sau fără izolație termică, din beton cu agregate uşoare sau din produse ceramice
perete autoportant	perete ce preia numai încărcările din greutatea proprie, pe toată înălțimea peretelui
perete neportant (purtat)	perete ce preia numai încărcările din greutatea proprie pe înălțimea unui singur nivel, pe care o transmite la elementele structurale pe care reazemă
perete portant	perete ce preia, în afară de greutatea proprie, sarcini verticale provenite de la alte elemente (planşee, grinzi etc)

perete structural	perete ce preia, în afară de greutatea proprie, sarcini verticale de la alte elemente (planşee, grinzi etc.), precum şi sarcini orizontale din vânt, seism etc.
perete de un sfert de cărămidă	perete din zidărie de cărămidă cu grosimea nominală aproximativ egală cu latura mică a cărămizii (uzual 7,5 cm); este alcătuit din cărămizi dispuse pe cant
perete de o jumătate de cărămidă	perete din zidărie de cărămidă cu grosimea nominală aproximativ egală cu lăţimea cărămizii (12,5 cm în cazul cărămizilor pline şi de regulă 15 cm în cazul cărămizilor cu goluri verticale)
perete de o cărămidă	perete din zidărie de cărămidă cu grosimea nominală aproximativ egală cu lungimea unei cărămizi (25 cm în cazul cărămizilor pline şi de regulă 30 cm în cazul cărămizilor cu goluri verticale)
perete de o cărămidă şi jumătate	perete din zidărie de cărămidă cu grosimea nominală aproximativ egală cu lungimea + lăţimea unei cărămizii (25 + 12,5 = 37,5 cm, în cazul cărămizilor pline)
performanţe în construcţii	îndeplinirea unui set de exigenţe (condiţii ce trebuie satisfăcute de o construcţie, funcţie de destinaţia acesteia şi de interesele utilizatorilor)
perioadă	timpul minim necesar pentru ca o mişcare periodică să se repete identic; perioada se măsoară în general în secunde, şi mai poate fi definită ca inversul frecvenţei
perioadă fundamentală	perioada asociată modului de vibraţie fundamental; este inversul frecvenţei fundamentale
perioadă de revenire	sinonim cu „interval mediu de recurenţă”
permeabilitate la vapori	inversul rezistenţei la permeabilitatea vaporilor
PEX	polistiren expandat
PFL	plăci fibrolemnoase

poală (picătură)	linia cea mai joasă a acoperişului, ce delimitează conturul acestuia în plan
podest (palier)	element plan, orizontal, servind drept loc de odihnă, aşteptare şi acces de la casa scării la alte spaţii; poate fi de nivel sau intermediar
pop (la şarpanta acoperişului)	element vertical solicitat la compresiune cu flambaj, realizat din lemn dreptunghiular sau rotund, având uzual latura (sau diametrul) de cca. 12...14 cm
presiune de referință a vântului	presiunea exercitată în centrul unei plăci plane verticale, dispusă perpendicular pe direcția vântului
presiune parțială a vaporilor	presiunea vaporilor ce corespunde unei umidității oarecare, mai mică decât umiditatea maximă (de saturație)
presiune de saturație a vaporilor	presiunea vaporilor ce corespunde umidității absolute maxime (de saturație)
punte termică	zonă din cadrul unui element de construcție, care datorită alcătuirii structurale sau geometrice prezintă o permeabilitate termică sporită față de restul elementului, permițând intensificarea transferului de căldură
punte termică liniară	punte termică caracterizată printr-o anumită lungime, secțiunea transversală a punții fiind constantă pe toată lungimea acesteia (de exemplu stâlpişorii şi centurile din beton înglobați în pereții de zidărie)
punte termică punctuală	punte cu o extindere redusă pe toate cele 3 direcții (exemple: elementele constructive cu dimensiuni mici, cum sunt ploturile din beton sau agrafele metalice cu ajutorul cărora se realizează legătura dintre straturile unui perete)

R

rata ventilării numărul de schimburi de aer pe oră, într-un anumit spațiu (apartament, încăpere etc.)

radiație termică transferul căldurii sub formă de unde electromagnetice, între corpuri cu temperaturi diferite, separate în spațiu

rampă (la scări) elementul înclinat care susține sau include treptele şi contratreptele; este executat de regulă din beton armat

reverberație amortizarea energiei acustice într-o încăpere închisă, concretizată prin prelungirea sunetului după încetarea emisiei sursei

rezistență termică specifică corectată reprezintă o aproximare a rezistenței termice reale a unui element, ce ține cont de pierderile de căldură prin câmpul curent al elementului şi de efectul punților termice (pierderi suplimentare de căldură)

rezistență termică unidirecțională capacitatea unui element omogen, sau a unui element alcătuit din straturi paralele între ele şi perpendiculare pe direcția fluxului termic, de a se opune trecerii căldurii; din punct de vedere matematic este raportul dintre căderea totală de temperatură (diferența dintre temperatura aerului interior şi exterior) şi fluxul termic unitar

rezistență la permeabilitatea vaporilor capacitatea unui element de a se opune migrației vaporilor; din punct de vedere matematic este raportul dintre grosimea elementului şi coeficientul de permeabilitate la vapori

rost **a.** „întrerupere" a clădirii în plan vertical, pe toată înălțimea acesteia, inclusiv fundațiile, care permite deformarea independentă a tronsoanelor; funcție de scopul pentru care sunt prevăzute, există rosturi de dilatare, rosturi de tasare şi rosturi antiseismice

b. interspațiile dintre elementele prefabricate din beton;

c. interspațiile dintre blocurile unei zidării;

S

sâmbure (stâlpişor)	stâlp din beton armat monolit de dimensiuni reduse (cu laturile secțiunii sub 40 cm; uzual 25 – 30 cm), înglobat în pereții din zidărie, în special la colțuri şi intersecții, pentru asigurarea unei bune comportări la sarcini orizontale (seism)
scara Mercalli	caracterizează acțiunea seismică în mod descriptiv (calitativ) pentru fiecare grad seismic, prin efectele asupra oamenilor, construcțiilor, terenului etc. (apreciere subiectivă); este organizată pe 12 grade de intensitate seismică
scara Richter	caracterizează acțiunea seismică prin energia de deformație eliberată prin ruptura faliei, calculată funcție de amplitudinea mişcării seismice înregistrată pe seismografe de un anumit tip (apreciere obiectivă); cuprinde 8 grade de intensitate seismică
scaun (la şarpante)	sub-ansamblu format din popi, pane şi contrafişe
sistem de referință modular	sistemul compus dintr-o rețea de plane perpendiculare, pe trei direcții, care împart volumul clădirii în paralelipipede rectangulare, cu lungimea laturilor egală cu modulul de bază sau cu multiplii ai acestuia
soclu	partea inferioară a pereților exteriori, situată deasupra nivelului terenului, cu înălțimea de cca. 40...60 cm, din beton, piatră etc., cu rol de protecție la lovituri accidentale şi cu funcții ornamentale
solbanc	element de construcție liniar, dispus orizontal pe latura inferioară a golurilor pentru ferestre, spre exterior, cu rol ornamental şi de protecție a fațadei împotriva apelor din precipitații; poate fi din cărămidă, piatră, beton etc.

spectru seismic (al deplasărilor, vitezelor sau accelerațiilor)	reprezentarea grafică a variației valorilor deplasărilor relative, vitezelor relative (în raport cu terenul) sau accelerațiilor absolute ale unui sistem cu un singur grad de libertate dinamică, în funcție de perioada proprie de vibrație a acestuia, când baza sa este supusă unei excitații de tip seismic
spectru de accelerații inelastic	spectru de accelerații ce ia în considerare rezervele de capacitate portantă ale structurii clădirii prin disiparea energiei când deformațiile efective depăşesc limita elastică, structura lucrând parțial în domeniul plastic
spectru normalizat de răspuns elastic al accelerației terenului	spectrului obținut prin raportarea (împărțirea) ordonatelor graficului spectrului de accelerații la accelerația maximă (de vârf) a terenului; se mai foloseşte denumirea de „factor de amplificare dinamică”
spectru seismic de răspuns al accelerațiilor	reprezentarea grafică a valorilor maxime ale accelerațiilor unui sistem oscilant, pentru un cutremur dat, în funcție de perioada proprie şi gradul de amortizare al sistemului
spectru standard (spectru de proiectare)	media spectrelor seismice de răspuns ale accelerațiilor, a celor două componente principale (pe direcțiile N – S şi V – E) corespunzătoare înregistrărilor şocurilor seismice
stări limită	stările în afara cărora structura nu mai satisface criteriile adoptate în cadrul procesului de proiectare
stări limită ultime	stările limită ce implică protecția vieții oamenilor şi a siguranței structurii şi/sau protecția unor bunuri de valoare deosebită; toate aceste stări sunt asociate cu prăbuşirea sau cu forme similare de cedare structurală
stări limită de serviciu	stările limită ce iau în considerare funcționarea structurii sau a elementelor structurale în condiții normale de exploatare, confortul utilizatorilor construcției şi limitarea vibrațiilor, deplasărilor şi deformațiilor structurii; dincolo de aceste stări utilizarea normală a construcției nu mai este posibilă

stâlp element de rezistență vertical (uneori uşor înclinat), fixat la partea inferioară în fundație, care preia sarcinile transmise de alte elemente (grinzi, planşee etc.)

structură de rezistență totalitatea elementelor unei construcții care preiau încărcările de diverse tipuri, determinând capacitatea portantă a clădirii: pereți portanți, planşee, stâlpi, grinzi, fundații etc.

structură de rezistență flexibilă structură a unei clădiri la care deformațiile sunt rezultatul efectului dominant al momentelor încovoietoare; perioadele proprii de vibrație sunt în general T ≥ 0,00..1,20 (exemplu: structurile pe cadre de beton armat, oțel, lemn)

structură de rezistență rigidă structură a unei clădiri la care deformațiile sunt produse în special de forțele tăietoare; aceste construcții au perioadele proprii de vibrație mici T ≤ 0,25...0,50 s; (exemplu: clădirile cu structura de rezistență din pereți portanți de beton armat sau din zidărie de cărămidă)

structură de rezistență semiflexibilă structură a unei clădiri la care deformațiile sunt rezultatul efectului combinat al forțelor tăietoare şi al momentelor încovoietoare; perioadele proprii de vibrație se înscriu de regulă în intervalul T = 0,25...1,20 s; exemplu: structurile alcătuite din cadre de beton armat rigidizate cu pereți de umplutură din zidărie masivă

sunete (zgomote) aeriene sunetele sau zgomote ce se propagă prin aer

sunete (zgomote) structurale sunetele sau zgomote ce se propagă prin medii solide (elemente de construcții)

sunetele muzicale sunete complexe la care frecvențele componentelor sunt multiplii întregi ai frecvenței fundamentale;

suprafață izotermă locul geometric al punctelor dintr-un câmp termic spațial, ce se caracterizează prin aceeaşi valoare a temperaturii

suprastructură	elementele situate deasupra cotei ±0.00 a clădirii: pereții de la parter şi nivelurile curente, planşeele curente etc.

Ş

şarpantă pe scaune	structura de rezistență a acoperişurilor cu pod, formată din elemente principale numite ferme, transversale pe acoperiş, situate la distanțe interax de cca. 3..5 m, şi elemente secundare formate din perechi de căpriori, dispuşi între ferme la distanțe de 60...100 cm

T

temperatură	mărime scalară de stare care caracterizează gradul de încălzire al corpurilor
timbrul sunetului	caracteristică prin care se pot deosebi două sunete cu aceeaşi frecvență fundamentală, dar cu număr de armonice diferite
tipizare a elementelor de construcții	reprezintă o treaptă mai avansată a coordonării dimensionale şi constă în proiectarea şi confecționarea unor elemente de dimensiuni corespunzătoare unei serii modulare cu număr redus de termeni şi unor condiții de exploatare tip, care se repetă cu o mare frecvență
toleranță	mărimea erorilor admise pentru un produs, referitoare la dimensiunile, poziția, forma şi aspectul unui element
toleranță dimensională	diferența dintre dimensiunea limită maximă (limita superioară admisă a dimensiunii efective a unui element de construcție) şi dimensiunea limită minimă (limita inferioară admisă a dimensiunii efective a unui element de construcție)

transfer de căldură procesul spontan, ireversibil de propagare a căldurii în spațiu, reprezentând schimbul de energie termică între corpuri sau regiuni ale aceluiaşi corp, ca rezultat al diferențelor de temperatură dintre acestea; transferul de căldură este un transfer de energie între sisteme fizico–chimice sau între diferitele părți ale aceluiaşi sistem, în cadrul unei transformări în care nu se efectuează lucru mecanic

transfer de masă procesul de migrație a unui fluid în interiorul unui corp, atunci când există diferențe de presiune (sau de concentrație) între diferitele zone ale acestuia (de exemplu migrația vaporilor de apă într-un perete)

travee distanța interax dintre două elementele de rezistență verticale succesive, pe direcția longitudinală a unei clădiri (exemplu: distanța interax dintre stâlpii unei hale industriale, pe direcție longitudinală)

treaptă elementul orizontal de bază al unei scări, pe care sprijină piciorul

tronson porțiune a unei clădiri separată de restul construcției prin rosturi de dilatare, antiseismice sau de tasare

U

umiditate absolută cantitatea de vapori de apă, exprimată în grame, conținută într-un m^3 de aer

umiditate de saturație cantitatea maximă de vapori ce poate fi absorbită de aer, la o anumită temperatură

umiditate relativă raportul între umiditatea absolută şi umiditatea de saturație, exprimat procentual (prin înmulțirea raportului cu 100); se poate exprima şi ca raport între presiunea parțială şi presiunea de saturație

umiditatea materialelor se exprimă pe bază gravimetrică sau volumetrică, prin raportarea greutății sau volumului apei conținute la greutatea, respectiv volumul corespunzător materialului uscat (se exprimă în procente)

unde sonore	oscilațiile ce se transmit într-un spațiu, sub formă de comprimări şi dilatări succesive ale mediului de propagare

V

valoare caracteristică a încărcării	valoarea caracteristică a unei acțiuni corespunde unei probabilități mici de depăşire a valorii acțiunii în sens defavorabil pentru siguranța structurii, pe perioada unui interval de timp de referință (vezi şi „intensitatea normată a încărcărilor”)
versanți (ape)	suprafețele înclinate ale acoperişurilor
vibrații armonice	mişcări ce pot fi reprezentate prin funcții trigonometrice simple, sinusoidale sau cvasisinusoidale (aproape sinusoidale)
viteză de rafală a vântului	similar cu „componentă de rafală”
viteză de referință a vântului	viteza vântului mediată pe o durată T = 10 min., măsurată la o înălțime de 10 m în câmp deschis şi având o probabilitate de depăşire într-un an de 0,02 (2%)
viteză instantanee a vântului	viteza vântului la un anumit moment

Z

zgomote	sunete supărătoare, indiferent de natura lor
zgomote de impact	zgomotele produse de lovituri, care se transmit atât prin elementele de construcții cât şi prin aer

zidărie material de construcție neomogen, alcătuit din elemente rigide numite blocuri şi materiale sau elemente de legătură (mortare, agrafe, adezivi), rezultând astfel un ansamblu de sine stătător, capabil să reziste la solicitări de ordin fizic şi mecanic

zidărie simplă zidărie alcătuită dintr-un singur tip de bloc

zidărie mixtă zidărie alcătuită din două sau mai multe straturi verticale paralele, realizate din materiale diferite ce conlucrează între ele

zidărie armată zidărie prevăzută cu armături transversale sau longitudinale

zidărie complexă zidărie ce include elemente din beton armat monolit (stâlpişori, centuri) cu care conlucrează la preluarea încărcărilor

Indexul termenilor

A

B

C

D

E

F

G

H

I

Î

L

M

N

P

R

S

T

U

V

Z

Indexul simbolurilor

Unitățile de măsură nu sunt trecute întodeauna în SI, ci sub forma utilizată în mod uzual în calculele de proiectare. Pentru mărimile adimensionale în locul unității de măsură s-a folosit simbolul (–).

A

A_f – aria secțiunii forfecate (m^2, cm^2); pag. 129

A – absorbția acustică a unei încăperi (m^2); rel. (6.13)

a – coeficientul de difuzivitate termică (m^2/s); pag. 165

C

c – coeficientul de siguranță în metoda rezistențelor admisibile (–); rel. (2.2)

C_e – coeficient prin care se ține seama de condițiile de expunere ale amplasamentului construcției (–); rel. (3.3)

$c_e(z)$ – factorul de expunere la înălțimea „z” deasupra terenului (–); rel. (3.11)

$c_g(z)$ – factorul de rafală (–); pag. 66

c_d – coeficientul de răspuns dinamic la vânt al construcției (–); pag. 70

c_p – căldura specifică la presiune constantă (J/Kg°C); pag. 152

C_v – constanta gazelor pentru vapori de apă (J/mol.K); pag. 215

c_r – coeficientul de siguranță în metoda de calcul la rupere (–); rel. (2.2)

C_t – coeficient termic prin care se ține seama de topirea zăpezii datorită pierderilor termice ale clădirii (–); rel. (3.3)

c_p – coeficient aerodinamic de presiune (–); pag. 66

$c_r(z)$ – factorul de rugozitate (–); pag. 66

c_{fr} – coeficient de frecare pentru vânt (–); pag. 70

c_a – căldura specifică masică a aerului interior (J/(Kg °C); pag. 210

c – viteza de propagare a undelor (m/s); rel. (6.1)

D

D_{max} – dimensiunea limită maximă (mm); rel. (1.3)

D_{min} – dimensiunea limită minimă (mm); rel. (1.3)

D_{constr} – dimensiunea de construcție (mm); rel. (1.4)

$D^{C}_{ef.max}$, $D^{C}_{ef.min}$ – dimensiunile efective maxime, respectiv minime, ale elementului cuprinzător (mm); rel. (1.5)

$D^{c}_{ef.max}$, $D^{c}_{ef.min}$ – dimensiunile efective maxime, respectiv minime, ale elementului cuprins (mm); rel. (1.5)

D – indicele de inerție termică (–); rel. (5.49), (5.50)

D – coeficientul de difuzie a vaporilor (m/s); pag. 216

d_w – grosimea stratului în care se acumulează umiditatea (m); pag. 229

E

E – modulul de elasticitate (daN/cm^2); pag. 73

E_o – valoarea inițială a modulului de elasticitate a zidăriei (daN/cm^2); pag. 117

E_r – valoarea modulului de elasticitate a zidăriei la rupere (daN/cm^2); pag. 117

e_o – excentricitatea unei forțe (m); pag. 123

E_E – efectul acțiunii seismice (efort secțional, deplasare); pag. 93

$E_{E,k}$ – efectul acțiunii seismice în modul „k” de vibrație; pag. 93

E – energia sonoră (J); rel. (6.11)

E_r – energia sonoră a undelor reflectate (J); pag. 241

E_a – energia sonoră a undelor absorbite (J); pag. 241

E_t – energia sonoră a undelor transmise (J); pag. 241

F

F_w – forța globală pe direcția vântului (daN); rel. (3.12)

F_b – forța seismică totală (forță tăietoare de bază) (t); rel. (3.21)

$F_{b,k}$ – forța tăietoare de bază aplicată pe direcția mişcării seismice, în modul propriu de vibrație „k” (t); rel. (3.26)

f – frecvența de oscilație (Hz); pag. 234

F_{fr} – forța de frecare din vânt (daN); rel. (3.13)

F_i – forța seismică orizontală static echivalentă de la nivelul „i” (t); rel. (3.25)

f – coeficient de frecare (–); pag. 113

G

$G_{k,i}$ – efectul pe structură al acțiunii permanente „i”, luată cu valoarea sa caracteristică; pag. 96

G – coeficientul global de izolare termică ($W/m^3\,^oC$); rel. (5.80), (5.85)

grad T – gradient de temperatură ($^oC/m$); pag. 138

GN – coeficientul global normat de izolare termică ($W/m^3\,^oC$); pag. 213

H

h – înălțimea secțiunii (m, cm); pag. 124

h_c – înălțimea zonei comprimate a secțiunii (m, cm); pag. 127

I

I – momentul de inerție (m^4); pag. 74

i_c – raza de girație a zonei comprimate (m); pag. 127

I_o – intensitatea acustică de referință (W/m^2); pag. 237

$I_{a,o}$ – intensitatea auditivă de referință a sunetului (W/m^2); pag. 239

i – raza de girație (m); pag. 121

I – intensitate acustică (W/m^2); rel. (6.3)

I_a – intensitatea auditivă a sunetului (W/m^2); pag. 239

J

J_{max}, J_{min} – jocul maxim, respectiv minim (mm); rel. (1.5)

K

k – coeficientul de siguranță pentru materiale (–); pag. 39

L

L – coeficient de cuplaj termic (W/ºC); pag. 211

L_p – nivelul de presiune sonoră (dB); rel. (6.9)

L_i – nivelul intensității sonore (Beli sau dB); rel. (6.5), (6.6)

L_a – nivelul de intensitate auditivă (fon); rel. (6.10)

M

m – masa (Kg, t);

m_i – masa de nivel (t); Fig. 3.23.b

M_{max} – momentul maxim (daNm); rel. (2.3)

M_r – momentul de rupere (daNm); rel. (2.3)

M – coeficient de difuzie a vaporilor de apă (1/s); pag. 220

m_w – cantitatea de apă condensată în masa unui element (iarna) (Kg/m^2); rel. (5.102)

m_v – cantitatea de apă evaporată dintr-un element (vara) (Kg/m^2); rel. (5.103)

N

N_{max} – efortul axial maxim (daN); rel. (2.3)

N_r – efortul axial de rupere (daN); rel. (2.3)

N_d – solicitarea axială de calcul (daN); rel. (4.25)

N_k – solicitarea axială caracteristică (normată) (daN); pag. 122

n – coeficientul încărcării (–); pag. 39

n – viteza de ventilare naturală (rata ventilării) (1/h); pag. 212

N_w – numărul de ore al perioadei în care are loc fenomenul de condensare (h); pag. 228

N_v – numărul de ore al perioadei în care are loc fenomenul de evaporare (h); pag. 228

P

P_k – valoarea caracteristică (normată) a încărcării permanente (daN); rel. (3.1)

P_d – valoarea de calcul a încărcării permanente (daN); rel. (3.2)

p_v – presiune parțială a vaporilor de apă (Pa); rel. (5.92)

p_s – presiune de saturație a vaporilor de apă (Pa); pag. 217

P_v – permeabilitatea la vapori (g/m^2.h.Pa sau h/m); rel. (5.94)

p – presiunea acustică (bar, Pa); pag 235

p_o – presiunea acustică de referință (Pa); pag 238

p_a – presiune auditivă a sunetului (W/m^2); pag. 239

$p_{a,o}$ – presiune auditivă de referință a sunetului (W/m^2); pag. 239

Q

q_{ref} – presiune de referință a vântului (daN/m^2); rel. (3.9); pag. 68

q – factorul de comportare (la încărcarea seismică) (–); pag. 87, 90

$Q_{k,j}$ – efectul pe structură al acțiunii variabile „j”, luată cu valoarea sa caracteristică; pag. 96

$Q_{k,1}$ – efectul pe structură al acțiunii variabile cu ponderea predominantă, luată cu valoarea sa caracteristică; pag. 96

Q – cantitatea de căldură (J, Wh); pag. 139

q – fluxul termic unitar (densitatea fluxului termic) (W/m^2); pag. 140

R

r – numărul curent al unui mod de vibrație (–); pag. 93

R_z^n – rezistența normată la compresiune a zidăriei (daN/cm^2); rel. (4.1)

R_b^n – rezistența normată (caracteristică) a blocului de zidărie (daN/cm^2); pag. 110

R_b^n – rezistența normată (caracteristică) a mortarului (daN/cm^2); pag. 110

$R_{t,n}^n$ – rezistența normată (caracteristică) de aderență la întindere a zidăriei (daN/cm^2); rel. (4.2)

$R_{t,t}^n$ – rezistența normată (caracteristică) la întindere tangențială a zidăriei (daN/cm^2); rel. (4.3), (4.4)

$R_{f,t}^n$ – rezistența de rupere la forfecare după secțiuni nelegate a zidăriei (daN/cm^2); rel. (4.5)

$R_{f,n}^n$ – rezistența de rupere la forfecare după secțiuni legate a zidăriei (daN/cm^2); rel. (4.6)

R_{str}^n – rezistența la strivire a zidăriei (daN/cm^2); rel. (4.7)

R – rezistență termică unidirecțională (m^2°C/W); rel. (5.19)

R' – rezistența termică specifică corectată (m^2°C/W); rel. (5.74)

R'_{min} – rezistență termică specifică corectată minimă necesară (normată) (m^2°C/W); pag. 201

R_v – rezistența la permeabilitatea vaporilor (m^2.h.Pa/g sau m/h); rel. (5.94)

R_{an} – gradul (indicele) de izolare acustică necesar (dB); rel. (6.14)

R_{aef} – gradul (indicele) de izolare acustică efectiv (dB); rel. (6.15), (6.16)

S

S_{max} – solicitarea maximă posibilă; rel. (2.4)

S_{min}^{cap} – capacitatea portantă minimă probabilă a secțiunii; pag. 41

s_k – valoarea caracteristică a încărcării din zăpadă pe acoperiş (daN/m^2); rel. (3.3)

$s_{o,k}$ – valoarea caracteristică a încărcării din zăpadă pe sol (daN/m^2); rel. (3.3)

s_d – intensitatea de calcul a încărcării din zăpadă (daN/m^2); rel. (3.4)

$S_d(T)$ – ordonata spectrului de răspuns de proiectare pentru accelerații (m/s^2); pag. 85

s_i – componenta modului fundamental de vibrație, pe direcția gradului de libertate dinamică de translație, la nivelul „i" (m); Fig. 3.23.c; pag. 91

$s_{i,k}$ – componenta pe direcția gradului de libertate dinamică de translație la nivelul „i" în modul de vibrație „k" (m); Fig. 3.23.c,d,e; pag. 93

s – coeficient de asimilare termica (W/m^2 ºC); rel. (5.47), (5.48)

T

T_D – toleranța dimensională (mm); rel. (1.3)

T_J – toleranța jocului (mm); rel. (1.6)

T_{max} – forța tăietoare maxima (daN); rel. (2.3)

T_r – forța tăietoare de rupere (daN); rel. (2.3)

T_1 – perioada fundamentală (s); pag. 84

T_B, T_C şi T_D – perioade de control (de colț) (s); pag. 86

T – intervalul de mediere pentru calculul vitezei medii a vântului (min); rel. (3.6)

T – temperatura (K, ºC); pag. 135

T_+^n, T_-^n – temperatura exterioară normată maximă/minimă (ºC); rel. (3.19)

T_{si}, T_{se} – temperaturile suprafeței interioare/exterioare a unui element (ºC, K); pag. 142

T_s – temperatura la suprafața unui corp (ºC, K); pag. 158

T – perioada de oscilație (s); pag. 234

T_{0+}, T_{0-} – temperaturile inițiale (pozitive sau negative) din faza terminării construcției (ºC); pag. 74

T_i, T_e – temperatura aerului interior, respectiv exterior (ºC, K); pag. 151

T_f – temperatura într-un fluid (ºC, K); pag. 158

U

U – viteza medie a vântului (m/s); rel. (3.5), (3.6)

U(z) – viteza medie a vântului la înălțimea „z" (m/s); rel. (3.7)

u(z,t) – partea fluctuantă a vitezei vântului (componenta de rafală) la momentul „t", la înălțimea „z" (m/s); rel. (3.7)

U' – coeficientul de transfer termic corectat (W/m^2 ºC); rel. (5.64)

U_v – umiditatea volumetrică a materialelor (%); rel. (5.93)

U(z,t) – viteza vântului la momentul „t", la înălțimea „z" (m/s); rel. (3.7)

u_i – viteza vântului la momentul „i" (m/s); rel. (3.5)

U – coeficientul de transfer termic (W/m^2 ºC); rel. (5.38)

U_g – umiditatea gravimetrică a materialelor (%); rel. (5.93)

V

v – viteza (m/s); pag. 62

W

w(z) – presiunea vântului la înălțimea „z” deasupra terenului, normală pe suprafețele structurii (daN/m^2); rel. (3.10)

W – modulul de rezistență (cm^3); pag. 74

Y

y – distanța dintre centrul de greutate al secțiunii şi marginea cea mai solicitată (m); pag. 124

Z

z_i – înălțimea nivelului „i” în raport cu baza construcției (m); Fig. 3.23

Simboluri greceşti

α

α – coeficient de dilatare termică (–); pag. 73

α – caracteristica elastică a zidăriei (–); pag. 118

α_c – coeficientul de transfer termic de suprafață (superficial), prin convecție (W/m^2 ºC); pag. 151

α_r – coeficientul de transfer termic de suprafață (superficial), prin radiație (W/m^2 ºC); rel. (5.17)

α – coeficientul de transfer termic de suprafață (superficial) (W/m^2 ºC); pag. 158

α_i, α_e – coeficienți de transfer termic superficial la suprafața interioară/exterioară (W/m^2 ºC); pag. 159

α_a – coeficientul de absorbție al unei suprafețe (–); rel. (6.12)

β

$\beta(T)$ – spectrul normalizat de răspuns pentru componenta orizontală a accelerației terenului (–); pag. 87

β_o – factorul de amplificare dinamică maximă a accelerației orizontale a terenului de către structură (–); pag. 87, 90

β – gradul de zveltețe (–); pag. 121

β_c – gradul de zveltețe al zonei comprimate (–); rel. 4.35

γ

γ – coeficient parțial de siguranță (–); pag. 39

γ_m – coeficient parțial de siguranță pentru materiale (–); pag. 39

γ – greutatea tehnică a materialului (daN); rel. (3.1)

γ_ℓ – factorul de importanță-expunere al construcției (–); pag. 85

Δ, δ

Δ – deformația maxime (săgeată sau rotire); rel. (2.5)

$\overline{\Delta}$ – deformația limită (săgeată sau rotire); rel. (2.5)

$\Delta\ell$ – deformația unui element liniar (mm); rel. (3.15)

ΔT – diferența de temperatură (ºC); pag. 73

ΔT_s – diferența dintre temperaturile suprafețelor unui element (ºC); pag. 160

$\Delta\Phi$ – diferența de flux termic (J/h, W); pag. 199

ΔW – creşterea umidității la sfârşitul perioadei de condensare (%); rel. (5.105)

ΔW_{adm} – valoarea maximă admisibilă a creşterii umidității la sfârşitul perioadei de condensare (%); pag. 229

δ – coeficient de conductivitate a vaporilor (g/m.h.Pa); pag. 215

ε

ε – deformația relativă (–); pag. 73

ε – coeficientul de defazare termică (ore); pag. 169

η

η – coeficient de corecție pentru mortarele de mărci inferioare (–); pag. 110

θ

θ_r – temperatură de rouă (ºC); pag. 221

λ

λ – coeficientul de conductivitate termică (W/mºC); pag. 142, 146

λ – coeficientul de zvelteţe (–); pag. 121

λ – lungimea de undă (m); pag. 234

λ – factor de corecţie pentru încărcarea seismică (–); pag. 84

λ_c – coeficientul de zvelteţe al zonei comprimate (–); pag. 127

μ

μ_i – coeficientul de formă (aglomerare) pentru încărcarea din zăpadă (–); rel. (3.3)

μ_D – factorul rezistenţei la permeabilitate la vapori (–); pag. 220

μ – coeficientul de formă al diagramei presiunilor (–); pag. 128

ν

ν – vâscozitatea cinematică (m^2/s); pag. 152

ν – coeficientul de amortizare al amplitudinii oscilaţiilor temperaturii aerului exterior (–); rel. (5.51)

ρ

ρ – densitatea (Kg/m^3);

ρ_a – densitatea aerului (Kg/m^3); pag. 65

ψ

ψ_0,ψ_1,ψ_2 – coeficienți de grupare sau factori de simultaneitate (–); pag. 40

ψ – coeficientul liniar de transfer termic (W/m°C); rel. (5.76), (5.78)

σ

σ – tensiunea (efortul unitar normal) (daN/cm^2); pag. 73

σ_a – tensiunea normală admisibilă (daN/cm^2); rel. (2.2)

σ_{lim} – rezistența normală limită (daN/cm^2); rel. (2.2)

σ_{max} – tensiunea normală maximă (daN/cm^2); rel. (2.1)

σ_{af} – rezistența admisibilă la flambaj (daN/cm^2); pag. 119

σ_{ac} – rezistența admisibilă la compresiune (daN/cm^2); pag. 119

σ_c – rezistența limită la compresiune (daN/cm^2); pag. 119

σ_{cr} – efortul critic de flambaj (daN/cm^2); pag. 119

σ^o_{cr} – efortul unitar critic corespunzător modulului inițial de elasticitate E_o al zidăriei (daN/cm^2); pag. 120

σ_o – efortul unitar mediu de compresiune pe rostul forfecat (daN/cm^2); pag. 129

τ

τ_a – tensiunea tangențială admisibilă (daN/cm^2); rel. (2.2)

τ_{max} – tensiunea tangențială maximă (daN/cm^2); rel. (2.1)

τ – factor de corecție a diferenței de temperatură (–); rel. (5.84)

τ_{lim} – rezistența tangențială limită (daN/cm^2); rel. (2.2)

τ – timpul (h); pag. 142

φ

φ – coeficientul de flambaj (–); rel. (4.14)

φ_1 – coeficientul de flambaj corectat (–); rel. (4.34), pag 127

Φ, Φ' – fluxul termic (J/h, W); pag. 139, 199

Φ – flux de energie acustică (W); pag. 235

φ_s – umiditate absolută de saturație (g/m^3); pag. 217

φ_o – coeficientul de flambaj corespunzător modulului inițial de elasticitate E_o al zidăriei (–); rel. (4.22), (4.23)

φ_c – coeficientul de flambaj pentru zona comprimată a secțiunii (–); pag 127

Φ_u – fluxul termic unidirecțional (J/h, W); pag. 199

φ_a – umiditate absolută (g/m^3); rel. (5.89)

φ_r – umiditate relativă (%); rel. (5.90), (5.91)

χ

χ – coeficientul punctual de transfer termic (W/ºC); rel. (5.77), (5.79)

Bibliografie

1.	Asanache H.	Higrotermica clădirilor, Editura Matrix Rom, Bucureşti, 1999
2.	Asanache H, Demir V., Delia F.	Higrotermica clădirilor. Aplicații, Editura Matrix Rom, Bucureşti, 2000
3.	Beleş A., Ifrim M.	Elemente de seismologie inginerească, Editura Tehnică, Bucureşti, 1962
4.	Ciornei Al.	Cum concepem construcțiile civile, Editura JUNIMEA, Iaşi, 2000
5.	Ciornei Al.	Ingineria clădirilor, Editura JUNIMEA, Iaşi, 2006
6.	Comşa E.	Construcții civile, vol. I, partea I, II, Editura Universității Tehnice Cluj–Napoca, 1992
7.	Comşa E., Moga I.	Construcții civile, vol. II, Elemente de higro-termică şi acustica clădirilor, Editura Universității Tehnice Cluj–Napoca, 1992
8.	Focşa V.	Higrotermica şi acustica clădirilor, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1975

9. Focşa V. — Construcţii civile, vol I, II, III, Editura Institutului Politehnic Iaşi, 1978

10. Gavrilaş I. — Fizica construcţiilor. Elemente de higrotermică, Editura CERMI, Iaşi, 2001

11. Gavrilaş I. — Evaluarea şi reabilitarea termofizică a clădirilor, Editura Experţilor Tehnici, Iaşi, 2002

12. Ghiocel D., ş.a. — Constructii civile, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1985

13. Hamburger L. — Introducere în teoria propagării căldurii. Conducţia prin solide, Editura Academiei R.P.R., 1956

14. Hernot D., Porcher G. — Thermique appliqué aux bâtiments, Les édition parisiennes CFP (chaud froid plomberie), Paris, 1995

15. Ifrim M. — Analiza dinamică a structurilor şi inginerie seismică, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1973

16. Lienhard J.H. IV, Lienhard J.H. V — A Heat Transfer Textbook, Phlogiston Press, Cambridge, Massachusetts, 2003

17. Lungu D., Ghiocel D. — Metode probabilistice în calculul construcţiilor, Editura Tehnică, Bucureşti, 1982

18. Mihăescu A. — Construcţii civile, Editura Institutului Politehnic Timişoara, 1980

19. Moga I. — Contribuţii la optimizarea higrotermică a clădirilor din zona Cluj–Napoca, Teză de doctorat, Iaşi, 1987

20. Negoiţă Al., Focşa V., Radu A. ş.a. — Construcţii civile, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1976

21. Peştişanu C. — Construcţii, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1979

22. Radu A., Sardino R. Clădiri, Editura Institutului Politehnic Iaşi, vol. I (1972), vol. 2 (1974)

23. Radu A., Vereş Al. Construcţii civile (partea I), Editura Institutului Politehnic Iaşi, 1985

24. Radu A., ş.a. Satisfacerea exigenţelor de izolare termică şi conservare a energiei în construcţii, Editura Societăţii Academice "Matei-Teiu Botez", Iaşi, 2003

25. Radu A., Bliuc I., Vasilache M. Higrotermică aplicată, Editura Societăţii Academice "Matei-Teiu Botez", Iaşi , 2004

26. Roulet C.A. Santé et qualité de l'environnment intérieur dans les bâtiments, Collection „Gérer l'environnment", Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 2004

27. Salvadori M. Lupta împotriva gravitaţiei, Editura Albatros, Bucureşti, 1983

28. Salvadori M. Mesajul structurilor, Editura Tehnică, Bucureşti, 1991

29. Ştefănescu D. Curs general de construcţii, Editura Universităţii Tehnice Iaşi, 1995

30. Ştefănescu D., Velicu C. Clădiri civile, Editura Experţilor Tehnici, Iaşi, 1997

31. Vasilache M., Velicu C. Ghid pentru reabilitarea termică a clădirilor de locuit, Editura Experţilor Tehnici, Iaşi, 1997

32. Velicu C. Curs general de construcţii, Editura Universităţii Tehnice Iaşi, 1995

33. Vereş Al., Vasilache M. Elemente de acustica clădirilor, Editura CERMI, Iaşi, 2002

34.	C107/1–97	Normativ privind calculul coeficienților globali de izolare termică la clădirile de locuit
35.	C107/2–97	Normativ privind calculul coeficientului global de izolare termică la clădirile cu altă destinație decât cele de locuit
36.	C107/3–97	Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de construcție ale clădirilor
37.	C107/4–97	Ghid pentru calculul performanțelor termotehnice ale clădirilor de locuit
38.	C107/5–97	Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de construcție în contact cu solul
39.	C107/6–02	Normativ general privind calculul transferului de masă (umiditate) prin elementele de construcție
40.	C107/7–02	Normativ privind proiectarea la stabilitate termică a elementelor de închidere ale clădirilor
41.	CR 1-1-3–2005	Cod de proiectare. Evaluarea acțiunii zăpezii asupra construcțiilor
42.	Cod NP-082-04	Cod de proiectare. Bazele proiectării şi acțiuni asupra construcțiilor. Acțiunea vântului
43.	Cod P100-1/2004	Cod de proiectare seismică – Partea I: prevederi de proiectare pentru clădiri
44.	CR 0–2005	Cod de proiectare. Bazele proiectării structurilor în construcții